

98

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Metodologia para Desenvolvimento de Sistema de Correlação de Alarmes de Telecomunicações

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Janine Münch Scavone

Florianópolis, maio de 1998.

Metodologia para Desenvolvimento de Sistema de Correlação de Alarmes de Telecomunicações

Janine Münch Scavone

Área de Concentração
Inteligência Aplicada

Orientador
Francisco A. Fialho



0.289.627-7



UFSC-BU

Florianópolis
Maio de 1998

Metodologia para Desenvolvimento de Sistema de Correlação de Alarmes de Telecomunicações

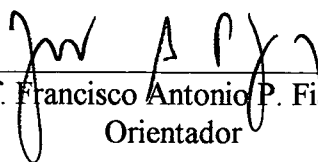
Janine Münch Scavone

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.

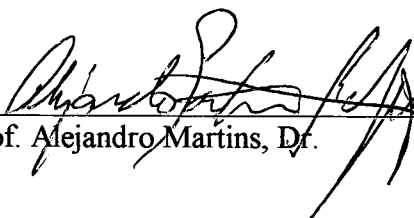


Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador

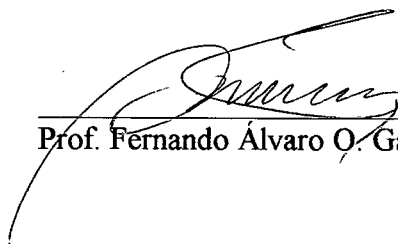
Banca Examinadora



Prof. Francisco Antonio P. Fialho, Dr.
Orientador



Prof. Alejandro Martins, Dr.



Prof. Fernando Alvaro O. Gauthier, Dr.

Dedico esta dissertação à

*Isadora, minha filha, que foi a luz e o estímulo necessários para o
término desta empreitada.*

*Renato Scavone, esposo e companheiro que partilhou, como ninguém, das
adversidades inerentes a este processo.*

*Lilian e Orlando Münch, meus pais, que sempre apoiaram e incentivaram o meu
desenvolvimento profissional.*

Agradeço a ...

Francisco A. Fialho pelo estímulo e confiança depositada no produto desta dissertação.

Renato Scavone pela grande colaboração prestada na elaboração da estrutura final apresentada neste documento.

TELESC, que subsidiou o desenvolvimento deste trabalho em todos os aspectos, representada na figura das seguintes pessoas:

Antônio Borba, além de amigo, um grande incentivador e facilitador de todo o processo intra-empresa.

Aos técnicos responsáveis pelas centrais digitais: Arnaldo Fachin, José Carlos C. Gregório e Roque Bitencourt por partilharem, sem restrições, de seus conhecimentos sobre o comportamento dos alarmes destas centrais.

Aos participantes do grupo de Gerência de Falhas- Bell Sygma: Roberta Cristina Freitas, Luiz Fernando Heinzen, Salézio Stahelin, Ari Boehme, com quem compartilho a responsabilidade pela definição de um novo ambiente de Gerência de Falhas e Desempenho para a TELESC.

E aos demais colegas de divisão que de alguma forma me incentivaram e auxiliaram nesta etapa decisiva de minha carreira.

À vida que me deu mais esta oportunidade de aprender e crescer ...

Sumário

<i>Lista de Figuras</i>	vii
<i>Lista de Tabelas</i>	vii
<i>Abreviaturas e Siglas</i>	viii
<i>Resumo</i>	ix
<i>Abstract</i>	x
1. Introdução	1
1.1 A Gerência de Falhas no Âmbito da Gerência Integrada de Redes e Serviços	1
1.2 Gerência de Falhas na TELESC	2
1.2.1 Situação Atual	3
1.2.2 Situação Desejada	4
1.3 Considerações sobre o Sistema de Correlação de Alarmes	6
1.4 Proposta de Trabalho	7
1.5 Organização dos Capítulos	8
2. Fundamentos	10
2.1 Rede de Gerência de Telecomunicações - TMN	10
2.2 Gerência de Falhas	14
2.3 Sistema de Análise de Alarmes (SAA) da TELESC	17
2.3.1 Limitações do SAA	20
3. Estado da Arte	22
3.1 Principais Abordagens Utilizadas na Correlação de Alarmes	23
3.1.1 Sistemas Especialistas	23
3.1.1.1 Sistema Baseado em Regras	25
3.1.2 Raciocínio Baseado em Modelos	27
3.1.3 Lógica Difusa	29
3.1.4 Redes Bayesianas	31
3.1.5 Redes Neurais	33
3.1.6 Raciocínio Baseado em Casos (CBR)	35
3.1.7 Outras Abordagens Propostas	38
3.1.7.1 Algoritmos de Correlação baseados em Máquina de Estado Finito	38
3.1.7.2 Algoritmos de Correlação Distribuída	39

3.1.7.3 Correlação por Codificação	42
3.2 Ferramentas Existentes para Correlacionar Alarmes	42
3.2.1 Event Correlation Services (ECS)	43
3.2.2 NerveCenter Pro	43
3.2.3 InCharge	44
3.2.4 Impact	45
3.2.5 Outros	45
4. Estudo de Caso	46
4.1 Sistema de Análise de Alarmes Inteligente (SAAI)	46
4.2 Considerações sobre a Aplicabilidade da Técnica de Sistemas Especialistas para o Problema de Correlação de Alarmes	52
5. Proposta de Metodologia para o Desenvolvimento de um Sistema de Correlação de Alarmes	54
5.1 Metodologia para o Desenvolvimento de um Sistema de Correlação de Alarmes	54
5.2 Proposta de um Sistema de Correlação para uma Fase de Transição	60
6. Conclusões	62
7. Referências	68

Lista de Figuras

Figura 1 - Arquitetura de Informação da TMN	12
Figura 2 - Arquitetura Funcional da TMN	13
Figura 3 - Projeto SAA	18
Figura 4 - Funcionamento de um Sistema Especialista	24
Figura 5 - Suposição de Independência em uma Rede Bayesiana	31
Figura 6 - Grafo representando Causalidade	32
Figura 7 - Ciclo do CBR	36
Figura 8 - Correlação Hierárquica	40
Figura 9 - Correlação Descentralizada	40
Figura 10 - Correlação Distribuída	41
Figura 11 - Projeto Lógico do SAAI	47
Figura 12 - Árvore de Encadeamento para Frente	48
Figura 13 - Tela Principal do SAAI	49
Figura 14 - Árvore de Classes e Objetos	50
Figura 15 - Módulo de Explicação do SAAI	51
Figura 16 - Mapa do Sistema de Correlação	59
Figura 17 - Sistema de Correlação de Alarmes em uma Fase de Transição	61

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Variáveis Linguísticas da Lógica Difusa	30
Tabela 2 - Probabilidades Condicionais para uma Rede Bayesiana	32

Abreviaturas e Siglas

ASCII	<i>American Standart Code for Information Interchange</i>
AXE	Central de Comutação CPA-T da Ericsson
BA	Bilhete de Atividade
BA-R	Bilhete de Atividade da Rede de Acesso
CBR	<i>Case-Based Reasoning</i>
CeGIR	Centro de Gerência Integrada de Rede
CPA-T	Central controlada por Programa Armazenado
EWSD	Central de Comutação CPA-T da Siemens
GFT	Gerência da Força de Trabalho
GIRS	Gerência Integrada de Redes e Serviços
IA	Inteligência Artificial
ITU-T	<i>International Telecommunications Union - Telecommunications Standardization Section</i>
MBR	<i>Model-based Reasoning</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
NE	<i>Network Element</i> - Elemento de Rede
OAM&P	Operação, Administração, Manutenção e Provisionamento
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
RBR	<i>Rule-based Reasoning</i>
SIGRA	Sistema Integrado de Rede de Acesso
STB	Sistema TELEBRÁS
TELEBRÁS	Telecomunicações Brasileiras S/A
TELESC	Telecomunicações de Santa Catarina S/A
TMN	<i>Telecommunications Management Network</i>
Trópico-RA	Central de Comutação CPA-T da Alcatel e Promon

Resumo

Sem um processo único que concentre, padronize e correlacione os alarmes, oriundos das diversas tecnologias presentes em uma rede de telecomunicações, irá ocorrer, sem dúvida, a duplicação de despacho de mão de obra especializada, na tentativa de solucionar a falha, acarretando um prejuízo considerável. É para esta situação que se define o sistema de correlação de alarmes como uma ferramenta poderosa para o diagnóstico de falhas. Este sistema consiste na interpretação e análise do conteúdo dos múltiplos alarmes emitidos, tendo como objetivo reduzir o número de eventos e enriquecer o significado dos que são visualizados pelo administrador da rede. Para o desenvolvimento de um sistema de correlação de alarmes, por ser este extremamente complexo e abrangente, é de fundamental importância o uso de uma metodologia apropriada que identifique e esclareça as principais etapas ou questões críticas que permeiam o seu desenvolvimento. O principal objetivo desta dissertação é apresentar uma proposta de metodologia para o desenvolvimento de um sistema de correlação de alarmes de telecomunicações em uma plataforma TMN.

Abstract

Without an unique process to concentrate, standardize and correlate the alarms originated by several technologies working at a telecommunication network, there's no doubt it is going to happen duplication of qualified workforce requests to solve the fault. This fact causes considerable damages to the telecommunication company. For this situation, the alarm correlation system is defined as the fault diagnosis powerful tool. This system consists in interpretation and analysis of various alarms reported contents. The main objectives of the system are reduce the number of events and enrich the alarms connotation which are showed to the network manager. For the designing of an alarm correlation system, which is extremely complex and has a wide domain, the existence of an appropriate methodology has fundamental importance. This methodology must clarify the main process phases or critical questions that appear during the system development. This dissertation proposes a methodology for an alarm correlation system development, suitable for telecommunication company in a TMN platform.

1. Introdução

A característica fundamental deste final de século é o uso intensivo da informação. A massificação da busca e geração de informações é viabilizada pela grande velocidade do desenvolvimento científico e tecnológico e das decorrentes facilidades de transmissão e acesso disponíveis. Isto faz com que tanto a capacidade das redes de telecomunicações quanto a dos sistemas computacionais estejam em um processo freqüente de expansão com o intuito de suprir as demandas por novos serviços.

Neste processo de globalização, as organizações necessitam de agilidade para promover mudanças profundas em suas diretrizes, tendo sempre como meta a qualidade, a satisfação do cliente e a lucratividade.

Diante desta conjuntura mundial, o setor de telecomunicações está realizando fortes investimentos na área de gerência integrada de redes e serviços (GIRS). A ênfase desta gerência baseia-se nas tendências do crescimento tecnológico das redes de telecomunicações e dos recursos computacionais. Combinando os recursos disponíveis dos equipamentos de comunicação digital com os recursos de informática, pode-se obter a máxima produtividade da planta e assegurar o serviço.

1.1 A Gerência de Falhas no Âmbito da Gerência Integrada de Redes e Serviços

A filosofia de Gerência Integrada de Redes e Serviços (GIRS) é definida como sendo :

“Conjunto de funções realizadas visando obter a máxima produtividade da planta e dos recursos disponíveis integrando de forma organizada as funções de Operação, Administração, Manutenção e Provisionamento para todos os elementos da rede e serviços de Telecomunicações” [Ramalho, 1993].

A gerência de falhas é uma das cinco áreas funcionais que compõem a gerência de redes. Agrega um conjunto de funções que possibilita a detecção, isolamento e correção de anormalidades na rede, tornando-se, assim, responsável pela manutenção e monitoração do estado de cada um dos objetos gerenciados e pelas ações necessárias para o pleno restabelecimento do funcionamento da rede. As informações coletadas, em conjunto com as informações do mapa da rede indicam quais os objetos que estão em funcionamento, manutenção ou fora de operação. O gerenciamento de falhas pode ainda prover um registro de ocorrências e um diagnóstico de falhas que possibilite correlacionar os vários alarmes que apresentem causa comum [BRISA, 1993].

Com o crescente desenvolvimento tecnológico das redes de telecomunicações faz com que a gerência de falhas se torne uma das mais complexas e amplas funções realizadas no âmbito da gerência integrada de redes [Katzela, 1996].

A TELESC, como tantas outras empresas da holding TELEBRÁS, não foge a esta regra. Possuidora de uma rede heterogênea composta por diversos sistemas de supervisão e gerência que apresentam arquiteturas proprietárias, interfaces não padronizadas e duplicidade de bases de dados, a TELESC, hoje, é deficiente no que tange a gerência de falhas. Na tentativa de resolver este problema, têm-se realizado estudos para a implantação de uma arquitetura de rede baseada no modelo TMN do ITU-T [Sortica, 1997], que tornaria possível a interconectividade dos equipamentos com os sistemas de operações e a interoperabilidade destes, além de minimizar os custos referentes a implementação destas diversas interfaces no seu ambiente multi-fornecedor.

1.2 Gerência de Falhas na TELESC

A proposta deste item é de traçar um diferencial entre a situação atual da gerência de falhas e a situação desejada pela empresa, realçando a necessidade de um sistema de correlação de alarmes.

1.2.1 Situação Atual

A gerência de falhas está segmentada em cinco áreas distintas: planta interna, planta externa, comunicação de dados, telefonia móvel e telefones públicos [TELESC,1995]. Além dos sistemas proprietários de operação e gerência dos equipamentos presentes nestas áreas, foram desenvolvidos os seguintes sistemas:

Planta Interna

- ⇒ Terminal de Envio de Alarmes. Supervisiona os alarmes de centrais analógicas, equipamentos de transmissão e de infraestrutura.
- ⇒ Telesupervisão. Responsável pelo monitoramento do estado dos pontos de alarmes distribuídos nos elementos de rede .
- ⇒ Sistema de Análise de Bilhetagem. Responsável pela coleta e pelo tratamento de amostras correspondentes a aproximadamente 30% dos bilhetes montados nos bilhetadores das centrais trânsito, obtendo-se indicadores de desempenho proporcionando um monitoramento “on line” das condições de tráfego terminado.
- ⇒ Testador de Rotas Telefônicas. Supervisiona o tráfego e falhas nas rotas de telefonia que contenham centrais providas de equipamentos auxiliares de comutação.
- ⇒ Sistema de Teste de Rádios Monocanais. Supervisiona as condições de funcionamento dos rádios monocanais.
- ⇒ Sistema de Análise de Alarmes. Responsável pela coleta, análise e correlação dos alarmes de centrais digitais das seguintes tecnologias: AXE, EWSD, e Trópico-RA.
- ⇒ Supervisão Óptica. Supervisiona os cabos de fibra óptica que suportam os enlaces digitais da rede.

Planta Externa

- ⇒ Sistema de Apoio à Centrais Digitais . Responsável pela automação da execução de serviços em centrais digitais, entre eles: teste de linha de assinantes, bloqueio e desbloqueio.
- ⇒ Teste Automático nas Redes de Acesso. Responsável pela automação de testes de grupos de assinantes e de cabos na referida rede, obtendo-se informações sobre a qualidade da mesma, como: resistência de isolamento, tensão na linha, capacitância, entre outros.

⇒ Teste de Linha de Assinante. Responsável pelo teste da linha do assinante no momento da reclamação do cliente.

A grande maioria dos sistemas da planta interna interfaceia com o sistema que gerencia o despacho dos técnicos para a recuperação da falha, denominado de Gerência da Força de Trabalho (GFT). Na realidade, os sistemas, que atuam na supervisão, detectam a falha e abrem um bilhete de atividade (BA), que será enviado para o GFT, que designará um técnico para a falha especificada.

Já os da planta externa interfaceiam com o Sistema Integrado da Rede de Acesso (SIGRA), sendo que para qualquer problema detectado será aberto um Bilhete de Atividade da Rede de Acesso (BA-R), que também irá despachar algum técnico para a falha especificada.

As deficiências deste ambiente de gerência são:

- ⇒ devido a segmentação da gerência de falhas em cinco áreas, não há uma visão globalizada da rede como um todo;
- ⇒ os sistemas de supervisão e operação da rede atuam sobre plataformas proprietárias, dificultando a padronização tanto dos sistemas como de procedimentos;
- ⇒ duplicação de base de dados, por não haver um banco de dados relacional corporativo;
- ⇒ inexistência do processo de correlação das falhas, ocorrendo duplicação de bilhetes de atividade.

Para suprir estas deficiências, a TELESC como a grande maioria das empresas de telecomunicações têm investido na reengenharia de seus processos operacionais, visando sistemas integrados e voltados para os objetivos estratégicos da empresa, parte fundamental da TMN/GIRS.

1.2.2 Situação Desejada

Com o intuito de obter um método futuro de operações que servisse de base estrutural para um ambiente composto por sistemas coesos e integrados, foi inicializado o Planejamento Global do Ambiente de Operações. Este processo foi viabilizado pela assinatura do Acordo de

Cooperação com a Bell Sygma, empresa do grupo Bell Canada Enterprises, em março de 1992, dando início a atividades conjuntas com a TELESC e outras empresas membro do grupo TELEBRÁS.

Na fase de planejamento estratégico o ambiente de operações foi particionado nas seguintes áreas funcionais [STB, 1994]:

I. Gerência de Falhas

II. Gerência de Desempenho

III. Gerência de Configuração

A. Interação com Cliente

B. “Provisionamento” de Serviços

C. “Provisionamento” de Recursos

IV. Planejamento de Rede

V. Gerência da Força de Trabalho

VI. Gerência de Tarificação

VII. Gerência de Materiais

VIII. Gerência de Segurança

Feito isto, cada área foi estudada em separado. Para cada uma destas, foi levantada a situação existente no momento e a desejada do futuro, tendo sempre a preocupação de estabelecer as interações das funções e os compartilhamentos de dados. No final, as situações futuras delineadas foram agregadas, representando uma visão conceitual global do futuro ambiente de operações.

A próxima etapa da consultoria foi o planejamento da transição do método atual para o método futuro de operação, para as diversas áreas em questão. Este planejamento se propõe a um detalhamento do método futuro de operação, de modo que a empresa tenha condições de planejar a migração dos sistemas de operação atuais para aqueles que suportarão o ambiente futuro. O planejamento da transição para a Gerência de Falha e Gerência de Desempenho foi realizado no período de outubro de 1995 a setembro de 1996 [STB, 1997].

Nesta fase foram levantados os principais pontos que exigem e justificam implementar ações emergenciais na Gerência de Falhas:

- ⇒ custo de mão de obra envolvida na Gerência de Falha é de 30% do total de custos, enquanto na Bell Canada é de 16%;
- ⇒ qualquer falha implica em despesa;
- ⇒ maior eficiência na utilização dos recursos disponíveis.

O produto final da fase de transição, apresentado pela consultoria, foi uma série de recomendações de transição além de uma lista dos projetos prioritários a serem desenvolvidos, definidos através da modelagem de dados realizada. Desta lista, um dos projetos com mais alta prioridade foi o sistema de correlação de alarmes, que será o objeto desta dissertação.

1.3 Considerações sobre o Sistema de Correlação de Alarmes

As redes de telecomunicações podem ser compostas por centenas de milhares de componentes/elementos de rede que devem ser gerenciados como um todo. Quando um problema ocorre, diversos componentes/elementos de rede podem detectá-lo, enviando alarmes como forma de identificação da anormalidade. Logo, uma única falha pode causar a emissão de inúmeros alarmes, gerando uma tempestade de eventos [Hewlett Packard, 1995].

Esta situação se agrava ainda mais no caso de uma rede formada por componentes/elementos de vários fabricantes devido ao fato dos alarmes apresentarem formatos próprios, implicando em diferenciação da descrição da falha e até mesmo da identificação do órgão afetado. Como esta situação abrange não só aos alarmes mas também a própria operação destas tecnologias, as empresas são levadas a formar especialistas para cada uma delas. Assim, um operador reconhece apenas as mensagens dos alarmes oriundos da tecnologia na qual trabalha diariamente, mesmo porque ele só possui acesso as informações desta, ignorando o restante dos alarmes presentes na planta. Verifica-se, desta forma, um desperdício de esforços, por parte dos técnicos, na tentativa de solucionar a falha expressa nos alarmes devido a inexistência de um processo único de análise de alarmes.

O principal problema enfrentado pela TELESC, devido a inexistência de um sistema eficiente de correlação de alarmes, é a duplicação de BA. Quando um único problema na rede é detectado por diversos equipamentos, n alarmes são gerados e, conseqüentemente, tratados pelos respectivos sistemas proprietários. Aparentemente, cada sistema está tratando de uma falha isolada justificando a necessidade de abrir BA específicos.

O percentual de erro nos despachos de mão de obra para solucionar o problema, causado pela duplicação de BA abertos para a mesma falha, se encontra em um nível aproximado de 35%, o que corresponde, aproximadamente, a um prejuízo mensal de US\$ 350.000,00. Baseado neste custo elevado e nas conclusões obtidas pela consultoria foi iniciado o levantamento dos requisitos de um sistema que centralizasse a análise dos alarmes, correlacionando os que apresentassem causa comum.

De um modo geral, para as empresas de telecomunicações, uma gerência efetiva sobre os alarmes gerados pela sua rede é sinônimo de qualidade de seus serviços e um pré-requisito para se manter competitivo no mercado. Além, é claro, de se evitar perda de receita [Scavone e Fialho, 1997].

1.4 Proposta de Trabalho

Agregando a este histórico da TELESC, o conhecimento que o problema de correlação de alarmes é alvo de estudos em todo mundo, verifica-se a importância do tema para o desenvolvimento do setor de telecomunicações. Por ser este assunto muito amplo e complexo, surge, então, a necessidade de se restringir a pesquisa desta dissertação à determinados pontos, que serão identificados abaixo.

A proposta desta dissertação é:

- ⇒ estudar o problema da correlação de alarmes;
- ⇒ identificar e caracterizar as principais técnicas utilizadas na correlação de alarmes;
- ⇒ investigar as principais ferramentas/produtos para correlação existentes comercialmente no mercado;

⇒ elaborar uma metodologia geral para desenvolvimento de um sistema de correlação de alarmes.

1.5 Organização dos Capítulos

Esta dissertação é composta por seis capítulos, incluindo o capítulo introdutório, que versam sobre os seguintes assuntos:

Capítulo 2: apresenta os fundamentos necessários para o entendimento do tema de correlação de alarmes. Inicialmente, é descrito o modelo de gerência de redes de telecomunicações, a TMN, suas principais características e funcionalidades. Uma destas funcionalidades é a gerência de rede que é subdividida em cinco áreas distintas sendo que a ênfase é dada para os conceitos relevantes à área de Gerência de Falhas que engloba a detecção, isolamento e correção de falhas. É, exposto, ainda, neste capítulo, o sistema desenvolvido pela TELESC, denominado Sistema de Análise de Alarmes, que foi o precursor na tentativa de correlacionar alarmes e que levantou a questão de um sistema correlacionador único.

Capítulo 3: é de extrema importância por identificar e caracterizar os principais métodos utilizados na correlação de alarmes. Estas abordagens foram levantadas através de uma vasta pesquisa bibliográfica onde identificou-se que a grande maioria são de métodos inteligentes. Foi levantado, ainda, as principais ferramentas disponíveis no mercado para correlacionar alarmes.

Capítulo 4: Para testar a aplicabilidade de uma das técnicas levantadas, foi desenvolvido, como estudo de caso, um sistema especialista protótipo que tem como objetivo correlacionar determinados alarmes de centrais digitais.

Capítulo 5: neste capítulo é proposto uma metodologia para desenvolvimento de sistemas de correlação de alarmes que engloba desde a definição de hardware e software até a fase de implantação do software de correlação. Prevê ainda uma fase de transição, com ênfase na situação de Gerência de falhas da TELESC, entre o ambiente atual e o proposto.

Capítulo 6: aqui são apresentadas as conclusões finais e as recomendações de trabalhos futuros.

2. Fundamentos

Os conceitos aqui apresentados são de fundamental importância para o entendimento do contexto do problema de correlação de alarmes. Estão divididos nos seguintes grupos: Rede de Gerência de Telecomunicações , Gerência de Falhas e Sistema de Análise de Alarmes.

2.1 Rede de Gerência de Telecomunicações - TMN

A rede de telecomunicações consiste de um intrincado conjunto de equipamentos e sistemas que normalmente diferem entre si no que tange a funcionalidade, arquitetura e tecnologia de implementação.

A consequência desta heterogeneidade na rede de telecomunicações é o aparecimento de inúmeros sistemas de monitoração e controle, incompatíveis entre si [Meira *et al.*, 1995] [NMF,1994].

Esta situação cria uma série de problemas, como por exemplo [Rebelles e Freitas, 1993]:

- ⇒ duplicidade de bases de informações;
- ⇒ dificuldade na integração entre os sistemas;
- ⇒ proliferação de diferentes interfaces homem-máquina;
- ⇒ complexidade na operação e gerência da rede.

Em um ambiente, como o descrito acima, se faz necessário a adoção de padrões de modo a eliminar e/ou amenizar estes problemas. Para isto foi concebida a rede de gerência de telecomunicações (TMN).

O principal objetivo da TMN é o de suportar as atividades de planejamento, provisionamento, instalação, manutenção, operação e administração da rede e serviços de telecomunicações [ITU-T,1995].

A TMN oferece uma estrutura organizada de rede que possibilita interconectar e interoperar diferentes sistemas de apoio às atividades de OAM&P entre si e com a planta de telecomunicações, essencialmente constituída de elementos de rede heterogêneos, com o intuito de troca de informações. Para isto se utiliza de uma arquitetura comum com interfaces padronizadas que incluem a definição de protocolos e mensagens, conhecida como arquitetura OSI [Rebelles e Freitas, 1993][Meira, 1996].

Neste contexto, a TMN pode, ainda, gerenciar:

- ⇒ a própria TMN;
- ⇒ terminais de transmissão, tais como: multiplexadores, roteadores e equipamentos de transmissão síncrona ;
- ⇒ computadores de grande porte, servidores de arquivos, de banco de dados e de redes;
- ⇒ serviços de suporte e teleserviços;
- ⇒ redes públicas e privadas, incluindo redes de telefonia móvel, redes virtuais, redes inteligentes, redes de longa distância, redes metropolitanas e redes locais;
- ⇒ outras.

A TMN considera as redes e os serviços de telecomunicações como um conjunto de sistemas cooperativos e gerencia-os de forma harmônica e integrada.

A TMN é conceitualmente uma rede separada que realiza a interface com uma rede de telecomunicações em vários pontos, com a finalidade de enviar e receber informações para controle de sua operação. Para atender a suas necessidades de comunicação, a TMN pode utilizar-se de partes da rede de telecomunicações por ela gerenciada.

A arquitetura de informação da TMN descreve um modelo orientado a objeto, cujo objetivo é identificar e descrever as informações de gerência trocadas entre os sistemas gerenciadores (gerentes) e os sistemas gerenciados (agentes), e também aspectos de gerência internos aos objetos gerenciados.

Um objeto gerenciado é a representação de um recurso da rede que está sujeito a algum tipo de gerenciamento. São definidos em termos de atributos e propriedades, operações a que

podem ser submetidos, notificações que podem emitir e relacionamentos com outros objetos gerenciados. O conjunto de objetos gerenciados dentro de um sistema constitui, juntamente com seus atributos, a Base de Informação de Gerenciamento conhecida como MIB (“Management Information Base”) [BRISA, 1993].

Pode-se afirmar que a MIB é o repositório conceitual de todos os objetos gerenciados, não importando qual seja o meio para o armazenamento físico das informações de gerenciamento [Costa e Lima, 1997].

O agente é específico de cada elemento de rede, pois contém o modelo de informação do objeto gerenciado, ou elemento de rede, em questão. Apresenta como função básica executar operações de gerenciamento sobre os objetos gerenciados, podendo, ainda, transmitir ao gerente as notificações emitidas pelos objetos gerenciados.

O gerente obtém informações atualizadas sobre os objetos gerenciados e é capaz de controlá-los. Para isto, transmite operações de gerenciamento aos agentes [BRISA, 1993].

A arquitetura da informação na TMN está demonstrada na Figura 1:

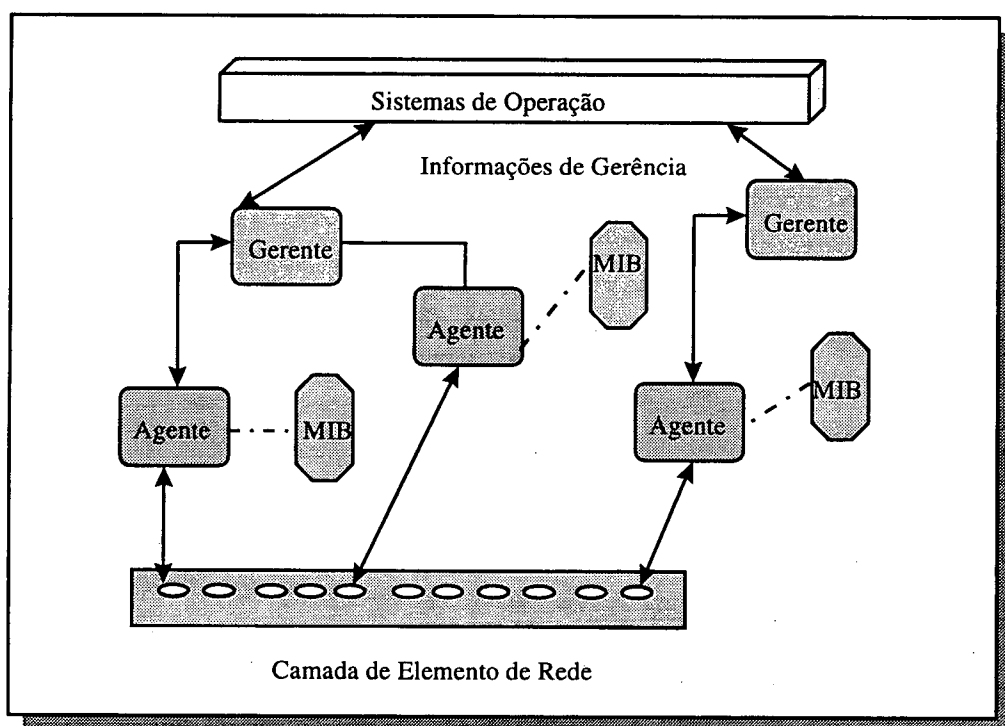


Figura 1 - Arquitetura de Informação da TMN

A funcionalidade de gerência da TMN é agrupada em camadas que restringem a atividade de gerência dentro de limites muito bem definidos. A arquitetura lógica da TMN é composta pelas seguintes camadas [Sortica, 1997]:

- ⇒ elemento de rede, corresponde aos componentes da rede que necessitam ser gerenciados, os equipamentos e recursos de telecomunicações propriamente ditos;
- ⇒ gerência de elemento de rede, composta por sistemas relacionados diretamente às atividades de gerenciamento individual dos elementos de rede, tais como: supervisão, monitoração do estado de funcionamento, controle dos sistemas de coleta de dados de desempenho ou de bilhetagem;
- ⇒ gerência de rede, relaciona os elementos de rede individualmente ou em conjunto, possibilitando a visão da rede como um todo. É responsável por todo o gerenciamento dos equipamentos e recursos da rede de telecomunicações;
- ⇒ gerência de serviço, trata dos serviços oferecidos pela empresa, como, no caso de uma operadora de telecomunicações: telefonia pública, telefonia fixa e móvel, comunicação de dados. É responsável, ainda, pelos aspectos contratuais dos serviços disponíveis.
- ⇒ gerência de negócio, trata do negócio, da atividade fim da empresa, explicitada na sua missão, que no caso da TELESC é a de telecomunicações. Exemplo de um sistema presente nesta gerência é o de marketing, que pode incluir estudos de mercado, dados da concorrência e possibilidades de novas áreas de expansão.

A arquitetura funcional da TMN está representada graficamente na Figura 2:

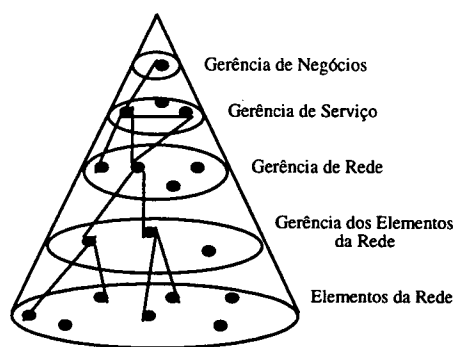


Figura 2 -Arquitetura Funcional da TMN

A gerência de rede podem ser dividida em cinco áreas funcionais distintas [BRISA, 1993]:

- ⇒ gerência de falhas, inclui detecção, isolamento e correção de falhas;
- ⇒ gerência de configuração, fornece subsídios para a preparação, a iniciação, a partida, a operação contínua e a posterior suspensão dos serviços de interconexão de sistemas abertos;
- ⇒ gerência de contabilização, inclui funções para informar aos usuários os custos ou os recursos consumidos no atendimento a um específico objetivo de comunicação, permitindo a associação do uso de recursos com escalas de tarifação;
- ⇒ gerência de desempenho, propicia a avaliação permanente do comportamento dos recursos da planta, bem como do seu rendimento ou eficiência;
- ⇒ gerência de segurança, dá apoio à aplicação de políticas de segurança. Inclui funções para criar, controlar e eliminar mecanismos de segurança, distribuir informações relevantes à segurança, registrar eventos e outras.

2.2 Gerência de Falhas

Serão apresentados conceitos que se destacam no estudo da gerência de falha.

Quando o centro de gerência detecta uma alteração no funcionamento normal da rede, sabe-se que o *erro* está sendo provocado pelo aparecimento de alguma falha [ITU-T, 1992].

A *falha* detectada pode ser tanto um problema de software (lógico) como de hardware (físico) que compõem a rede gerenciada [Jakobson e Weissman, 1993] [ITU-T, 1992]. O registro físico da falha é efetuado pela rede através de alarmes [Jakobson e Weissman, 1993] que são externados de modo a fornecer aos operadores informações mais específicas sobre os objetos afetados pelo problema [Katzela e Schwartz, 1995].

Alarme é a notificação de um evento [ITU-T, 1992]. Seu objetivo é prover informações que permitam atuar sobre as condições operacionais e sobre a qualidade do serviço do sistema gerenciado [BRISA, 1993].

Um alarme pode não ser necessariamente uma falha [ITU-T, 1992]. Esta afirmação é baseada no fato de que muitas vezes o alarme está apenas comunicando algo que ocorreu na rede sem que o funcionamento desta tenha sido afetado. A informação contida no alarme, que identifica sua importância, denomina-se “grau de severidade “. Seu conteúdo varia desde o nível de alerta até o de crítico. O alarme que apresenta o grau de severidade com o valor de alerta nada mais é do que um aviso para o operador que reconhece que não ocorreu nenhum impacto sobre a qualidade do serviço prestado ao usuário do sistema [BRISA, 1993].

Em muitos casos, uma única falha pode causar a emissão de inúmeros alarmes, gerando uma tempestade de eventos [Hewlett Packard, 1995]. Esta situação pode ser exemplificada quando ocorrer [Houck *et al.*, 1995]:

- ⇒ múltiplos alarmes gerados pelo mesmo elemento devido a uma única falha;
- ⇒ a falha ser intermitente, sempre que for alcançada uma situação limite, um novo alarme será emitido;
- ⇒ o alarme é emitido a cada vez que for solicitado um serviço de um elemento em falha;
- ⇒ a propagação da falha na rede, isto é, a falha de um elemento encadear a falha de outros, fazendo com que estes também gerem alarme;
- ⇒ inúmeros alarmes são enviados por distintos elementos que detectam a mesma condição de falha.

O excesso de informação, gerada pelo aparecimento de inúmeros alarmes, não agrega valor à gerência de falhas [Katzela, 1996] caso inexista um processo eficaz de correlação de alarmes que processe e analise estes dados.

Correlação de alarmes consiste na interpretação e análise do conteúdo dos múltiplos alarmes emitidos [Meira e Nogueira, 1997] tendo como objetivo reduzir o número de eventos e enriquecer o significado dos que são visualizados pelo administrador da rede [Munich Network, 1997]. Tarefas executadas durante o processo de análise dos alarmes poderão gerar novos significados para estes alarmes ou até mesmo novos alarmes. Estas tarefas compreendem [Jakobson e Weissman, 1993]:

- ⇒ Compressão: a redução de múltiplas ocorrências de um alarme através de um alarme que compreenda todas estas;
- ⇒ Contador: a substituição de um específico número de ocorrências de um alarme através de um novo alarme;
- ⇒ Supressão: inibir alarmes de baixa prioridade em presença de alarmes com alta prioridade;
- ⇒ Booleano: substituição de um conjunto de alarmes que satisfaçam determinada condição por um novo alarme;
- ⇒ Generalização: referenciar um alarme por sua super classe. Isto permite que se desvie a atenção de uma perspectiva individualizada dos eventos na rede para uma visão mais ampla do que realmente está acontecendo.

O processo da gerência de falhas, responsável por descobrir a causa original dos alarmes recebidos, é conhecido como *diagnóstico de falhas* [Meira e Nogueira, 1997]. O diagnóstico de falhas, usualmente, é composto por duas etapas: a correlação de alarmes e a identificação da falha.

A quantidade e a complexidade das informações geradas pelos alarmes, o tamanho das redes gerenciadas e a limitada capacidade de processamento do operador humano fazem com que o processo de diagnóstico de falhas, para apresentar a confiabilidade necessária, seja automatizado [Katzela, 1996].

O sistema de diagnóstico de falhas além de necessitar agilidade para o processamento “on line” dos alarmes emitidos, deve ter a capacidade de trabalhar com dados incompletos e ter à sua disposição o cadastro da topologia da rede, atualizado, a fim de ter subsídios para correlacionar os eventos e identificar a falha raiz. Antes de se obter a causa original, pode ser necessária a formulação de um conjunto de hipóteses de falhas, as quais precisarão ser validadas através de testes [Meira e Nogueira, 1997], [Katzela, 1996] e/ou através de uma análise do histórico de falhas [Bouloutas, 1990]. O histórico de falhas auxilia na identificação da causa raiz através da pesquisa de situações idênticas ocorridas no passado, verificando-se a solução adotada.

2.3 Sistema de Análise de Alarmes (SAA) da TELESC

A supervisão básica dos alarmes funciona através de equipamentos que estão conectados à central através de canais de comunicação que ficam dedicados à tarefa de receber os alarmes enviados [Scavone e Echamendi, 1998].

Os alarmes das centrais digitais, AXE (Ericsson), EWSD (Siemens) e Trópico-RA (Promon), são disponibilizados em impressoras, juntamente com resultados de comandos, em formato texto. O processo de análise destes alarmes, quando realizado pelos operadores, nada mais é do que uma conferência diária e manual destas listagens, não havendo a menor possibilidade de uma gerência de falhas eficaz.

Os únicos alarmes que são detectados, em tempo real, são os conhecidos como urgentes. Isto porque as impressoras emitem um sinal sonoro à chegada destes alarmes, chamando a atenção dos técnicos. Com isto, os alarmes semi-urgentes, os intermitentes e de qualidade são totalmente ignorados.

Devido a este ambiente caótico, foi desenvolvido na TELESC um sistema, denominado Sistema de Análise de Alarmes (SAA), que analisa os alarmes de forma automatizada, eliminando com isso as impressoras deste processo.

O SAA, na realidade, é composto por três módulos distintos: SAA-AXE, SAA-Trópico RA, SAA-EWSD, sendo que cada um é executado em um micro diferente. Isto ocorreu porque, como já foi visto, não se tinha conhecimento do funcionamento dos alarmes e para tal iniciou-se o levantamento dos dados dos alarmes das centrais AXE, com o intuito de se desenvolver um protótipo para este tipo de central. No caso, o protótipo foi tão eficiente que se tornou sistema, incentivando, assim, a análise das demais tecnologias. Estas não foram anexadas no primeiro SAA, tanto pela limitação da plataforma já existente como também pela diferenciação de processos internos entre os tipos de centrais, o que acarretaria em alterações drásticas no código deste primeiro sistema. Desta forma, optou-se pelo desenvolvimento de sistemas individuais, tendo-se o conhecimento, de que em algum outro momento, a integração deveria ser realizada.

O ambiente formado pelo SAA é descrito na Figura 3, que será devidamente detalhada logo abaixo.

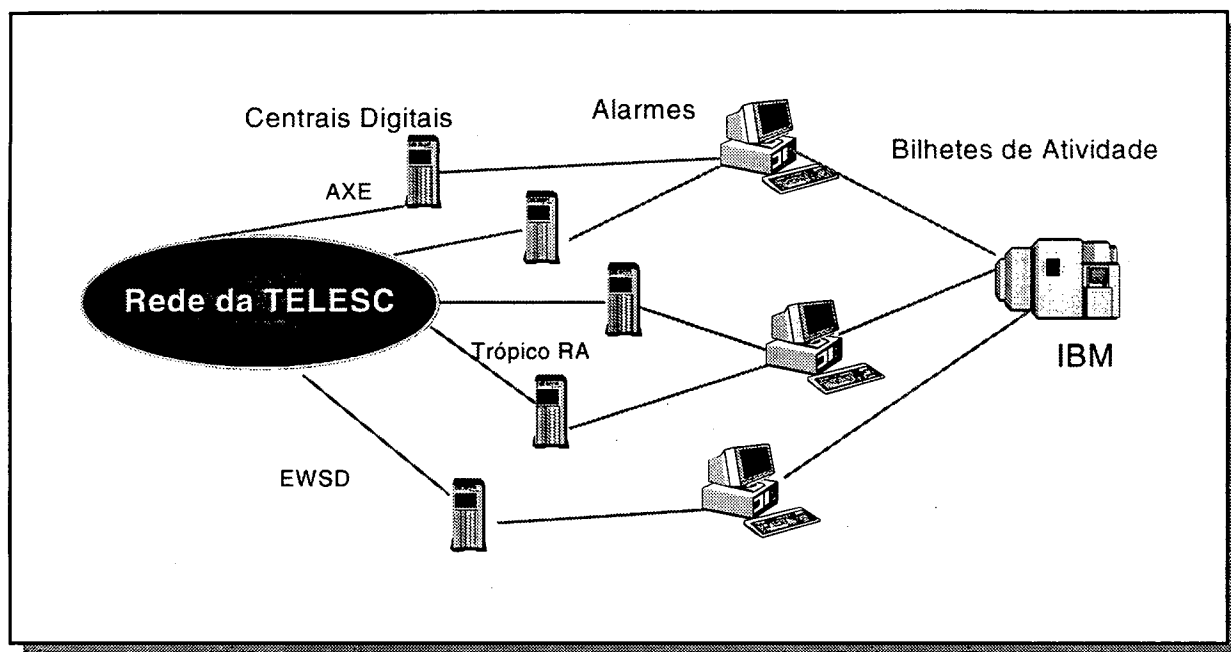


Figura 3 - Projeto SAA

Composto por quatro módulos funcionais básicos: *Aquisição, Padronização, Análise e Relatórios Gerenciais*.

A *Aquisição* é um processo de coleta de alarmes executado através de uma porta multiseriada, onde estão conectadas todas as centrais digitais, do mesmo fabricante.

A *Padronização* é responsável pela conversão dos alarmes, em formato texto (Ericsson, Siemens e Promon), para um padrão que possa ser armazenado em uma base de dados. Para isto, são extraídos, do texto do alarme, informações tais como: a descrição, data, hora, grau de severidade, órgãos com defeito e a central que disponibilizou o alarme. Armazenando estas informações em uma base de dados informatizada, cria-se um histórico de todos os alarmes que apareceram na rede, fornecendo um grande suporte à tomada de decisão. Finalizada esta etapa, o alarme padrão está disponível ao módulo de análise.

A *Análise de Alarmes* é composta por uma árvore de decisão e regras de correlação que é onde se concentram grande parte do conhecimento especialista.

A outra parte deste conhecimento está no mapeamento de determinadas entidades da rede telefônica que facilita a rápida localização das falhas e permite que a correlação seja executada.

Este módulo compreende as seguintes funcionalidades básicas:

- ⇒ *Filtro*: seleciona os alarmes a serem analisados de acordo com critérios configuráveis pelo operador. Estes critérios englobam: tabela de exceções, que define quais alarmes, de uma específica central, que não devem ser analisados; o agendamento de órgãos que estejam em manutenção ou fora de serviço por um determinado período de tempo; nível de severidade a ser considerado significativo para a análise; e tempo de espera na fila de alarmes presentes. Este último critério tem como objetivo fazer com que o alarme, antes de ser despachado para o técnico, fique inserido em uma fila de onde ele somente sairá caso ocorra a sua desabilitação ou o tempo de espera se esgotar.
- ⇒ *Contador*: alarmes que podem ser gerenciados pelo número de vezes que apareceram em um específico período de tempo. São usualmente conhecidos como alarmes transientes. O usuário possui a facilidade de analisar os alarmes da forma como melhor lhe convier: apenas pelo filtro; apenas pelo contador ou por ambos. Estes parâmetros são configuráveis para cada alarme.
- ⇒ *Correlacionador*: correlaciona os alarmes que apresentam causa comum baseando-se em uma árvore de decisão, em regras heurísticas e em informações do cadastro da rede. A correlação é executada nos alarmes que passaram pelo filtro. Os alarmes analisados somente pelo *Contador* não são correlacionados, pelo fato de terem importância isolada na rede.

Finalizada a análise, o SAA monta um bilhete de atividade (BA) para cada alarme resultante deste processo, enviando-os automaticamente para o sistema de Gerência da Força de Trabalho (GFT), instalado no “mainframe” da TELESC, que irá despachar o técnico para o reparo da falha.

Os *Relatórios Gerenciais* estão baseados no histórico dos alarmes padrões, fornecendo suporte à tomada de decisão no que diz respeito à prevenção da falha. Através de suas informações pode-se identificar, em um determinado período de tempo, o órgão que mais falhou, o alarme que mais apareceu, relação dos juntadores que mais falharam por rota, além de fornecer o relatório de todos alarmes que foram detectados. Enfatiza-se a importância deste último relatório,

já que com ele os operadores de centrais podem eliminar as impressoras, do processo de análise de alarmes.

A implantação do SAA no CeGir caracterizou-se por uma mudança de comportamento dos técnicos perante os alarmes das centrais digitais. Se antes a análise destes era inexecutável, naquele momento a análise elaborada pelo SAA tornou-se uma eficiente ferramenta de gerência, já que cada SAA, anexado a uma tecnologia de central digital, tornou-se responsável pelo tratamento de aproximadamente 300 alarmes por dia. Gradativamente, as impressoras foram sendo substituídas, de acordo com o grau de confiança que o usuário ia obtendo com o uso do sistema. Um dos grandes benefícios do SAA foi consolidar o entendimento dos técnicos em relação aos alarmes e com isto pode-se ajustar os processos internos de análise e correlação do SAA.

2.3.1 Limitações do SAA

Com a visão mais clara do funcionamento destes alarmes, verificou-se que o SAA apresentava uma série de deficiências que, anteriormente, não haviam sido consideradas além das criadas pela separação física dos sistemas. Destas, a que acarreta o maior número de BA duplicados é a incapacidade de correlacionar alarmes de duas centrais sendo estas da mesma tecnologia ou não. Como por exemplo, a correlação dos alarmes gerados pelo mau funcionamento de uma rota de comutação entre centrais AXE. Cada central apresenta uma identificação diferente para a mesma rota e quando esta falha, dois alarmes de queda de rota são gerados, onde os órgãos com defeito e a localização física destes na rede são totalmente diferentes. Visto que a análise inicial do SAA-AXE não havia previsto tal correlação o sistema gera dois BA, acarretando despachos desnecessários no GFT.

Basicamente, isto ocorreu por falta de conhecimento dos usuários envolvidos, os especialistas da área, por não conhecerem suficientemente o funcionamento dos alarmes no momento da análise. Este tipo de conhecimento é que foi sendo aprimorado com a utilização do SAA.

Por ter sido desenvolvido em uma plataforma limitada, o esforço de se fazer uma manutenção, deste porte, no SAA não seria recompensador. Tomou-se a decisão que o SAA continuaria a existir até ser substituído por um novo sistema.

3. Estado da Arte

As empresas de telecomunicações têm se mostrado uma das maiores investidoras no campo de IA, tanto em pesquisa quanto na produção de sistemas. Isto vem ocorrendo desde a década de 80 com o grande “boom” dos sistemas especialistas.

Nos últimos tempos, as redes de telecomunicações alcançaram um grau de evolução que fizeram com que sistemas de tecnologias distintas se interconectem, tornando as redes um emaranhado de equipamentos e sistemas altamente complexos. É na gerência deste ambiente que tem crescido a importância do papel da tecnologia de IA no desenvolvimento de ferramentas.

Várias aplicações, desenvolvidas nas empresas de telecomunicações, se utilizam de técnicas de IA. Sistemas especialistas são os mais utilizados na automação de processos da gerência de redes, principalmente nos de diagnósticos, reparos e despacho de serviços [Hedberg, 1996] [Jakobson e Weissman, 1993] [Munich Network, 1997]. Uma outra técnica de IA, o raciocínio baseado em casos (CBR), também está sendo utilizado em sistemas de diagnóstico e reparo [Lewis e Dreio, 1993]. Redes neurais são utilizadas de forma mais discreta em sistemas de diagnóstico [Hedberg, 1996] [Covo *et al.*, 1989][Wietgreffe *et al.*, 1997]. Já lógica difusa é utilizada em sistemas que tratam com informações imprecisas na tentativa de modelar o raciocínio inexato. Lógica difusa se caracteriza pela habilidade de inferir uma resposta aproximada baseada em conhecimentos inexatos [Cronk *et al.*, 1988]. Além destas técnicas inteligentes várias outras abordagens foram utilizadas na tentativa de melhor atender as necessidades das empresas de telecomunicações no que diz respeito à correlação de alarmes.

3.1 Principais Abordagens Utilizadas na Correlação de Alarmes

O objetivo deste item é de relacionar as principais técnicas utilizadas no desenvolvimento de sistemas de correlação de alarmes, permitindo ao leitor uma panorâmica global sobre o assunto.

3.1.1 Sistemas Especialistas

Define-se sistema especialista como um sistema inteligente desenvolvido para emular a habilidade do especialista de resolver problemas [Kandel *et al.*,1996]. Há dois aspectos do especialista que se tenta modelar: o conhecimento e o raciocínio. Este fato faz com que o sistema especialista tenha três módulos principais: a base de conhecimento, a memória de trabalho e a máquina de inferência.

A base de conhecimento contém as informações, específicas sobre o problema, fornecidas pelo especialista. Ela inclui fatos, regras, conceitos e relacionamentos que identificam o problema. Estas informações são codificadas na base de conhecimento através de técnicas de representação. As mais comuns são: regras, frames e redes semânticas. A escolha da técnica no projeto de um sistema especialista pode impactar direto no tempo de desenvolvimento, eficiência, velocidade e tempo gasto em manutenção [Kandel *et al.*,1996].

Memória de trabalho é a parte do sistema que contém os fatos do problema que são descobertos durante a consulta ao sistema especialista. Estes fatos são obtidos através da base de conhecimento e da máquina de inferência. Quando o sistema chega a alguma conclusão esta também é armazenada na memória de trabalho. Logo, pode-se afirmar que a memória de trabalho contém todas as informações do problema fornecidas ou pelo usuário ou inferidas pelo sistema [Durkin, 1994].

A máquina de inferência é um processador de conhecimento. A nível de controle, é um programa que determina como aplicar o conhecimento, contido na base de conhecimento e nos fatos e premissas descritos na memória de trabalho, de forma a inferir novos dados que levem a

novas deduções. Os métodos de raciocínio utilizados pela máquina de inferência são o forward e o backward chaining [Cronk *et al.*, 1988].

A interação entre os módulos funcionais do sistema especialista está demonstrado na Figura 4:

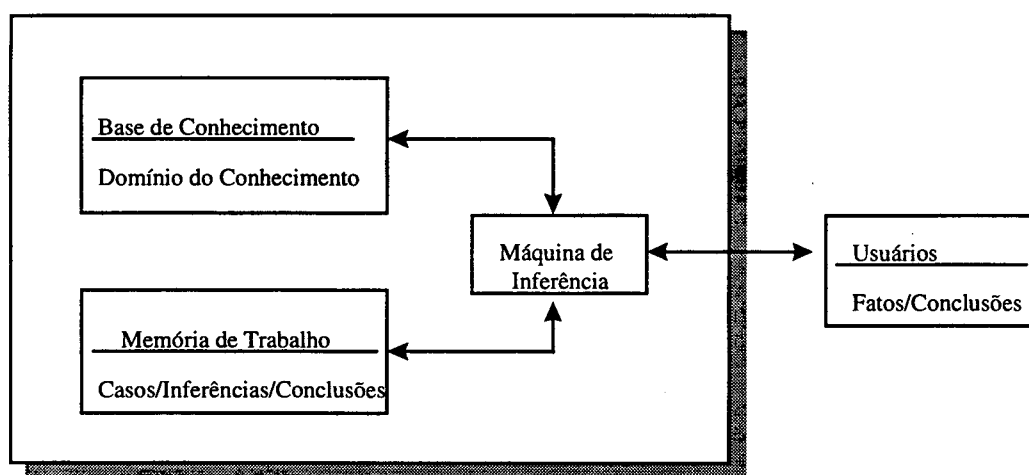


Figura 4 - Funcionamento de um Sistema Especialista

Os sistemas especialistas são considerados mais simples, mais modularizados e mais fáceis de manter do que os programas tradicionais pelo fato que estes contêm em seu código tanto o conhecimento especializado quanto as informações de controle. Sistemas especialistas são essencialmente bons para aplicações fechadas que se utilizam de dados de entrada específicos, induzindo a resultados lógicos [Medsker, 1995].

Os sistemas especialistas apresentam uma série de limitações. Uma delas diz respeito ao entendimento sobre processos cognitivos e ao modo que os especialistas atualmente executam as tarefas. Para obter este tipo de informação são necessárias entrevistas com os “expert” no domínio do assunto. Este procedimento é demorado, caro e sujeito a erros [Durkin, 1994]. Apresenta, ainda, a incapacidade de tratar com as situações que não foram modeladas em sua base de conhecimento, afetando sua robustez.

Uma parcela significativa de fornecedores da área de gerência de redes têm incorporado em suas plataformas sistemas especialistas com o objetivo de correlacionar alarmes. Exemplos destes podem ser encontrados em: Sinergia da CSELT [Brugnoni *et al.*, 1993], NMS/Core da Tecnekron Communications, ALLINK Operations Coordinator da NYNEX [Jakobson e Weissman, 1993], XTESS da Digital's, RTie da Talarian, Fault Expert da Gensym's G2, entre outros [Munich Network, 1997].

Identificou-se na literatura pesquisada sobre correlação de alarmes, em sistemas de telecomunicações, uma parcela significativa que se utiliza da abordagem de sistemas baseados em regras [Meira e Nogueira, 1997]. Em decorrência a este fato, esta técnica será rapidamente revista.

3.1.1.1 Sistema Baseado em Regras

Um sistema cujo conhecimento está codificado em regras é denominado *Sistema Baseado em Regras*. O conhecimento neste tipo de sistema é representado por regras de produção tais como [Kandel *et al.*, 1996]:

IF *antecedente(s)* THEN *consequência(s)*

Muitas das regras são heurísticas: regras de podagem ou simplificações que limitam a busca de soluções e que são determinadas a partir da experiência com o domínio do problema [Sasisekharan *et al.*, 1993]. O uso de heurísticas não garante a melhor solução mas, sim, uma solução aceitável na maioria das vezes. Normalmente, é utilizada na resolução de problemas complexos onde a pesquisa pela solução ótima consumiria um tempo muito elevado. O uso de regras heurísticas torna a pesquisa muito mais ágil e prática [Waterman, 1986].

Em um sistema baseado em regras, a máquina de inferência chega à suas conclusões através das consequências das regras cujos antecedentes têm sido provados (forward chaining) ou então assumindo as consequências e provando-as pela confirmação dos antecedentes (backward chaining) [Kandel *et al.*, 1996].

Os sistemas baseados em regras incorporam as vantagens e desvantagens dos sistemas especialistas além de apresentarem vantagens e desvantagens próprias, tais como [Durkin, 1994]:

Vantagens:

- ⇒ expressão natural. Em muitos problemas o especialista expressa seus conhecimentos através do SE ... ENTÃO, tornando esta abordagem uma escolha atrativa;
- ⇒ modularidade do conhecimento. Facilidade de revisar o conhecimento que está embutido na regra;
- ⇒ fácil expansão. Esta característica permite um gradual crescimento de inteligência, tornando a prototipagem uma poderosa ferramenta
- ⇒ utilização de heurísticas.

Desvantagens:

- ⇒ exige que os antecedentes de uma regra estejam exatamente satisfeitos para então dispará-la;
- ⇒ dificuldade de se detectar os relacionamentos entre as regras que foram disparadas pela máquina de inferência, principalmente se a base de conhecimento for grande;
- ⇒ baixo desempenho quanto ao tempo de execução se houver um número muito grande de regras;
- ⇒ inapropriada para determinados problemas, por exemplo: aqueles cujo domínio se modificam rapidamente e os que apresentam um certo grau de incerteza na tomada de decisão.

Há um número significativo de sistemas de correlação baseados nesta abordagem. Um dos fatores deste sucesso é a abundância de softwares básicos que propiciam este tipo de desenvolvimento [Durkin, 1994].

No caso específico de redes de telecomunicações, devido a sua complexidade e natureza dinâmica, é extremamente árdua a tarefa do engenheiro do conhecimento de elaborar as regras antes que a topologia da rede tenha se modificado, invalidando um expressivo número de regras. Para sistemas como este, a construção da base de conhecimento é a fase mais crítica em relação ao tempo de desenvolvimento de um sistema especialista, tornando-se o grande gargalo da técnica [Groot, 1996]. Logo, apesar das inúmeras aplicações existentes, pode-se afirmar que em domínios complexos e dinâmicos, os sistemas baseados em regras tendem rapidamente a se tornarem obsoletos [Lewis e Dreio, 1993].

3.1.2 Raciocínio Baseado em Modelos

Como foi visto no item anterior, modificar e estender a base de conhecimento, em casos de reconfiguração da rede e inclusão de novos tipos de elementos de rede, é uma tarefa difícil e propensa a erros. A abordagem baseada em modelos foi desenvolvida justamente para compensar esta deficiência [Froehlich e Jobmann, 1997].

O MBR é baseado em um modelo explícito dos mecanismos internos de comportamento de um sistema. As técnicas baseadas em modelo podem representar o conhecimento de forma mais completa, em um nível maior de detalhes, do que técnicas que codificam experiência. Isto ocorre porque empregam modelos que são sistemas compactos compostos por axiomas de onde se pode deduzir grandes quantidades de informações [Shai, 1997].

Sistemas de diagnóstico baseado em modelos separam o conhecimento em dois: estrutural e de comportamento.

O conhecimento da topologia é especificado de forma modular para cada tipo de elemento de rede. No caso do domínio de telecomunicações, o componente estrutural é a descrição da rede gerenciada que é composta por duas partes: o modelo de configuração da rede e a hierarquia das classes de elemento de rede.

O modelo de configuração da rede descreve os objetos gerenciados (NE), a conectividade destes objetos entre si e as relações de “*containment*” (relações de inclusão em uma estrutura todo-parte).

A hierarquia das classes dos NE descrevem os tipos que existem de elemento e as relações de classe/subclasse entre os tipos. Cada NE no modelo de configuração de rede é uma instância de uma classe terminal nesta hierarquia [Jakobson e Weissman, 1993].

O componente comportamental é definido como sendo a dinâmica da correlação de alarmes, isto é, a árvore de encadeamento de alarmes, as regras de correlação e a descrição genérica do estado da rede baseada nas conclusões obtidas pelas regras de correlação.

O MBR aplicado a gerência de rede de telecomunicações apresenta duas características específicas:

- ⇒ a modelagem de sistemas de telecomunicações conduz a modelos muito mais complexos e dinâmicos;
- ⇒ o raciocínio é integrado com um sistema existente que apresenta um grande número de restrições.

A principal diferença não se encontra na máquina de inferência, que pode se tornar mais eficiente através da incorporação de características específicas à área de telecomunicações, mas na construção de modelos corretos e úteis. Para se construir um modelo que represente a complexidade das redes de telecomunicações, deve-se modelar a partir do nível mais alto. Isto significa que a modelagem se torna um processo abstrato. Não existe uma fórmula de como realizar esta abstração, fazendo com que uma metodologia baseada em sistemas de telecomunicações seja criada.

As principais características desta metodologia são:

- ⇒ modelagem de entidades não físicas. A maioria dos problemas encontrados em sistemas de telecomunicações são de software, inclusive os que causam problemas de hardware;
- ⇒ modelagem hierárquica. A modelagem funcional deve seguir os padrões OSI para as suas camadas, permitindo um tratamento proprietário da propagação de erro e possibilita um raciocínio eficiente na maioria dos níveis de abstração.
- ⇒ gerência dos domínios. A gerência de uma rede muito grande normalmente é distribuída em várias gerências que se responsabilizam por partes da rede. Isto deve ser refletido dentro do modelo através do conceito de gerência de domínios.
- ⇒ comportamento dinâmico. Como os modelos estão em um alto nível de abstração, não se pode esperar que o comportamento seja estático. O comportamento de um NE pode variar conforme o status do ambiente ou com uma ação do administrador, por exemplo. Isto significa que a linguagem de modelagem deve permitir formular condições que permitam diferentes

raciocínios de acordo com o status atual e que permitam modelar o comportamento específico a somente uma instância [Kehl e Hopfmüller, 1993].

Como principal vantagem desta abordagem é citado: a flexibilidade e a facilidade na representação do conhecimento através dos modelos. Já, como desvantagens são identificadas: o desempenho limitado, no caso de modelos complexos onde o nível de abstração escolhido encobriu fatos relevantes ao diagnóstico, a falta de paralelismo [Kätker e Paterok, 1997] [Katzela, 1996].

3.1.3 Lógica Difusa

Lógica difusa é um super conjunto da lógica convencional que foi estendido para auxiliar o conceito de incerteza. Na realidade, são valores que se encontram entre a verdade absoluta e o falso absoluto. Este conceito foi introduzido por Lotfi Zadeh, em 1960, como meio de modelar a incerteza da linguagem natural. O objetivo desta abordagem é a representação dos aspectos cognitivos do homem que pode ser denominado de *raciocínio aproximado*. Os sistemas de lógica difusa ou sistemas “fuzzy” podem ser menos precisos que os sistemas convencionais mas se aproximam mais da forma de agir do ser humano no dia a dia. Os termos “fuzzy”, tais como: alto, baixo, pequeno, grande, etc, não são precisos mas permitem descrever situações reais e desenvolver um raciocínio sobre eles.

Um subconjunto “fuzzy” F de um conjunto S pode ser definido como um conjunto de pares ordenados. O primeiro elemento do par ordenado seria um membro de S e o segundo elemento seria derivado do intervalo $[0,1]$. Para cada elemento de S existe, exatamente, um par ordenado. Isto define um mapeamento entre elementos do conjunto S e os valores do intervalo $[0,1]$. O valor 0 é usado para representar um não-membro, e o 1 para representar um membro, e os valores intermediários representam graus de pertinência. O conjunto S é conhecido como o domínio do subconjunto F . Frequentemente o mapeamento é descrito como uma função, a função membro de F . O grau de pertinência para o comando: *x está em F* é determinado pelo segundo elemento do par ordenado [Jang, 1992][Kandel *et al.*,1996].

Os conjuntos “fuzzy” permitem que termos vagos possam não somente ser representados como também processados pelo computador. Formalmente, estes termos de linguagem são denominados variáveis linguísticas. Além destes termos elementares existem os qualificadores destes elementos tais como: muito, mais ou menos, que geram novos conjuntos “fuzzy”. A tabela 1 mostra a identificação dos conjuntos lógica difusa de acordo com as variáveis linguísticas [Kandel *et al.*,1996].

Variáveis Linguísticas	Exemplos
predicados da lógica difusa	baixo, alto, moderado, jovem
modificadores da lógica difusa	muito, mais ou menos
probabilidades da lógica difusa	muitas vezes, usualmente, algumas vezes
possibilidades da lógica difusa	quase impossível, plausível, inteiramente possível
valores de verdade da lógica difusa	muito exato, inteiramente exato
operadores relacionais da lógica difusa	maior do que, mais perto do que, menor

Tabela 1 - Variáveis Linguísticas da Lógica Difusa

As informações, por muitas vezes, são incertas ou até mesmo incompletas tornando a modelagem dos sistemas, realizada com outra tecnologia que não contemple esta característica da informação, uma tarefa árdua e complexa [Lu e Chen, 1997] [Meira e Nogueira, 1997]. Nestes casos, a lógica difusa é uma ferramenta muito poderosa. Uma das áreas de possível aplicação desta técnica é a de diagnóstico, normalmente utilizada em conjunto com algum outro método inteligente. No caso específico de correlação de alarmes, a lógica difusa é citada como uma melhoria a ser introduzida nos sistemas que se utilizem de regras de produção. Mais precisamente, as variáveis linguísticas “fuzzy” seriam colocadas nas premissas das regras e processadas pela máquina de inferência, tornando o sistema muito mais poderoso [Jakobson e Weissman, 1993] [Brugnoni *et al.*,1993] [Jakobson e Weissman, 1995][Mansfield *et al.*, 1993][Karetelk, 1997] [Cronk *et al.*, 1988].

Diversos sistemas incorporam a lógica difusa dentro do seu contexto. Exemplos de sistemas fuzzy, na maioria híbridos com alguma outra técnica, são divididos nas seguintes áreas: medicina, energia, agricultura, nutrição, telecomunicações, finanças, negócios, entre outras [Ex.Fuzzy, 1997].

Apesar de se poder provar empiricamente que um dado sistema baseado em lógica difusa funciona perfeitamente, não existe uma base matemática que permita o mesmo. Utilizando-se deste argumento, pesquisadores afirmam que estes sistemas deveriam se utilizar de modelos probabilísticos, como as redes bayesianas, que além de tratar incertezas apresentam uma sólida base matemática [Meira e Nogueira, 1997].

3.1.4 Redes Bayesianas

Modelo gráfico que incorpora relacionamentos probabilísticos entre variáveis de interesse [Heckerman, 1995]. Mais formalmente, uma rede Bayesiana é um grafo acíclico dirigido que representa as relações de causalidade entre variáveis aleatórias. Cada nó do grafo identifica uma variável, à qual são associadas as probabilidades condicionais subjetivas. Estas probabilidades são determinadas pelos valores de outras variáveis, que estão representadas pelos nós antecessores. Isto ocorre pressupondo-se certas relações de independência entre os nós que não pertencem ao mesmo ramo do grafo, ou melhor: qualquer nó em um grafo acíclico dirigido, dado os seus nós pais, é independente de qualquer outro nó que não seja seu descendente. A Figura 5 ilustra a suposição de independência para uma rede Bayesiana [Hood e Jit, 1997].

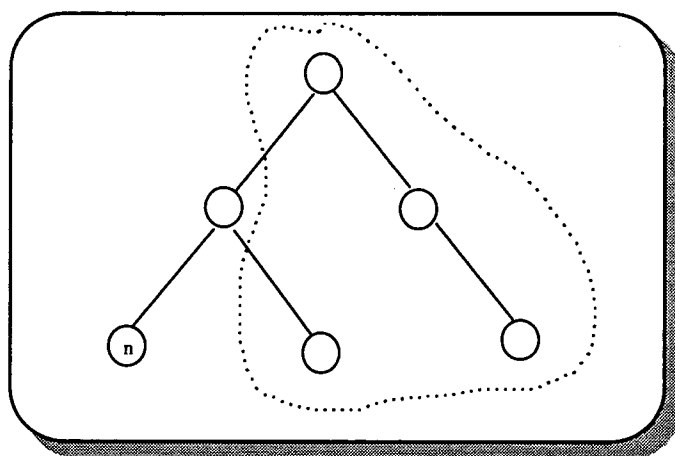


Figura 5 - Suposição de Independência em uma Rede Bayesiana

Segue abaixo um exemplo prático que define uma tabela de probabilidades condicionais para uma rede Bayesiana baseada em um grafo acíclico dirigido:

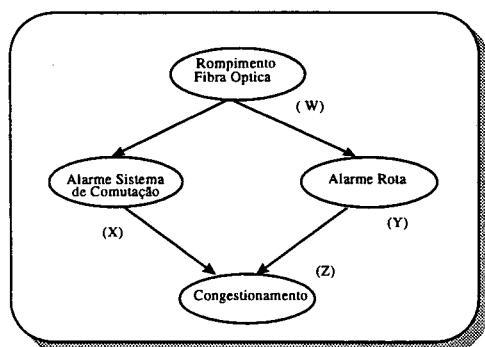


Figura 6 - Grafo Representando Causalidade

Atributo	Probabilidade
$p(Z X,Y)$	1,0
$p(Z X,\sim Y)$	0,5
$p(Z \sim X,Y)$	0,9
$p(Z \sim X,\sim Y)$	0,1
$p(X W)$	1,0
$p(X \sim W)$	0,6
$p(Y W)$	1,0
$p(Y \sim W)$	0,6
$p(W)$	0,5

Tabela 2- Probabilidades Condicionais para uma Rede Bayeiana

A suposição de independência permite com que se estime a probabilidade condicional de qualquer nó do grafo dado uma determinada observação ou evidência. A grande vantagem das redes Bayesianas é que ela fornece uma base teórica que combina dados estatísticos com conhecimento a priori sobre o domínio do problema.

Redes Bayesianas são usadas em aplicações de diagnósticos médicos [Heckerman e Nathwani, 1992], “troubleshooting” [Heckerman *et al*, 1994] e no diagnóstico de falhas em redes de telecomunicações [Kirsch e Kroschel, 1994] [Hood e Jit, 1997].

As objeções ao uso das redes Bayesianas estão concentradas nos seguintes tópicos [Kandel *et al*, 1996]:

⇒ estimar todas as probabilidades condicionais é uma tarefa praticamente impossível;

- ⇒ a suposição de independência entre as probabilidades condicionais não é válida para todas as aplicações;
- ⇒ de acordo com estudos de psicologia cognitiva, o ser humano quando raciocina sobre incerteza não segue o padrão bayesiano.

Algumas destas objeções motivaram os pesquisadores a elaborarem métodos, que simplificam as necessidades computacionais exigidas pelas redes Bayesianas, denominados *quasi-bayesian*. Estes métodos podem ser divididos em três grandes classes: transmissão de mensagem, triangulação de grupos e algoritmos estocásticos. A idéia por de trás de todos estes métodos é tirar vantagem do fato de que os nós tem domínios limitados de influência [Rich, 1993].

3.1.5 Redes Neurais

Define-se redes neurais como estruturas computacionais baseadas em unidades de processamento paralelo distribuídas, conhecidos como neurônios, organizadas como um grafo direcionado utilizando-se de algoritmos de aprendizagem para implementar o conhecimento a partir de um conjunto de dados amostrais [Pacheco, 1996]. As unidades são conectadas através de canais de comunicação que normalmente carregam dados numéricos. Elas operam somente sobre seus dados locais recebendo-os via os canais de comunicação. São tipicamente organizadas em camadas que são compostas por um número de nós interconectados que apresentam uma função de ativação. Os padrões são apresentados à rede através da camada de entrada que se comunica com uma ou mais camadas escondidas onde o atual processamento é feito via o sistema de conexões de pesos. A camada escondida é linkada à camada de saída apresentando o resultado final [Haykin, 1994].

Algumas redes neurais são modelos biológicos, outras não, mas historicamente, muitas das inspirações vieram do desejo de produzir sistemas artificiais capazes de simular as operações que o cérebro humano executa rotineiramente. São utilizadas em aplicações que exigem a fusão e a correlação de grandes volumes de dados em tempo real. Ao contrário dos sistemas especialistas

e dos algoritmos procedurais, redes neurais não necessitam conhecimento a priori dos relacionamentos lógicos ou matemáticos entre os dados de entrada e saída [Covo *et al*,1989].

A maioria das redes neurais apresenta algum tipo de treinamento onde os pesos das conexões vão sendo ajustados. Em outras palavras as redes neurais aprendem através de exemplos e exibem alguma capacidade de generalização através dos dados de treinamento [Medsker,1995].

Baseado nestes fatos, pode-se afirmar que os benefícios da utilização de redes neurais são [Wietgreffe *et al*, 1997]:

- ⇒ nenhum conhecimento especialista é necessário para treinar, configurar e nem para adaptar a rede neural;
- ⇒ redes neurais são resistentes a ruídos devido a sua capacidade de generalização.
- ⇒ habilidade de processar, rapidamente, grandes quantidades de dados através de sua estrutura em paralelo;
- ⇒ no caso específico de telecomunicações: caso a configuração da rede de telecomunicações for modificada, as camadas de entrada e saída da rede neural simplesmente devem ser ajustadas com os novos padrões e a rede deverá ser treinada novamente;

O uso de redes neurais na indústria vem crescendo devagar, limitando-se a áreas que apresentam problemas cujas soluções são de conhecida complexidade [Parker,1997]. Na área de telecomunicações tem obtido sucesso em diversas aplicações. Em [Yuhas e Ansari, 1994] é oferecida uma revisão de diversas aplicações na área de telecomunicações que estão sendo resolvidas através de redes neurais. Aplicações específicas de redes neurais para a correlação de alarmes podem ser encontradas em [Covo *et al*, 1989] e [Wietgreffe *et al*, 1997].

Redes neurais podem apresentar um inexequível tempo de processamento na fase de treinamento quando seus vetores de entrada forem super dimensionados. Pode-se amenizar esta situação através da decomposição do problema em pequenas unidades independentes sendo que para cada uma delas é associada uma rede neural. Estas caracterizam-se por convergirem mais rapidamente e pela facilidade de treinamento. Esta solução de redes neurais hierárquicas, no caso

específico da correlação de alarmes, pode ser uma boa alternativa a ser considerada [Covo *et al*, 1989] [Niebur,1997].

Além do tempo gasto em treinamento, [Gardner e Harle, 1996] apresentam como desvantagem do uso de redes neurais na correlação de alarmes o fato de que nem todos os alarmes sejam conhecidos previamente.

Abordagens híbridas, combinando redes neurais com alguma outra técnica, é uma área emergente no campo da pesquisa. Considerando-se a técnica de redes neurais como uma ferramenta de processamento de dados de *baixo nível*, deve ser considerado o uso de raciocínio simbólico usando lógica fuzzy e sistemas especialistas para ajustar e interpretar os resultados da rede neural [Niebur,1997]. Um exemplo de utilização de redes neurais e sistemas especialistas na área de correlação de alarmes é encontrada em [Covo *et al*, 1989].

3.1.6 Raciocínio Baseado em Casos (CBR)

O princípio básico de funcionamento do CBR é similar ao modo do ser humano de resolver seus problemas. O ser humano, através da experiência obtida na solução de um problema, consegue adaptar seu conhecimento previamente adquirido à solução de um novo problema. Assim, a técnica de raciocínio baseado em casos está fundamentada no aproveitamento das experiências passadas (casos), armazenadas previamente em uma base de casos ou um banco de dados de casos, para resolver os novos problemas [CBR, 1996].

Desta forma, podemos afirmar que o raciocínio baseado em casos é um paradigma de solução de problemas que difere, em princípios básicos, das outras técnicas de Inteligência Artificial. Ao invés de contar somente com o conhecimento genérico do domínio do problema ou com o conhecimento obtido através das associações entre relacionamentos genéricos e as características do problema, CBR é capaz de utilizar o conhecimento específico de uma experiência. Uma segunda diferença, que distingue o CBR, é por ser uma técnica que incrementa o aprendizado através do armazenamento das novas experiências, tanto no caso de sucesso

quanto no insucesso da aplicabilidade da solução proposta. A razão do insucesso ser lembrado é com a finalidade de evitar o mesmo erro no futuro [Aamodt e Plaza, 1994].

O ciclo recursivo do raciocínio baseado em casos (Figura 7) pode ser descrito usando os seguintes processos [Watson e Marir, 1994]:

- ⇒ recuperação dos casos, idênticos ou similares, da base de casos;
- ⇒ reutilização ou adaptação do conhecimento sobre o caso recuperado para resolver o problema;
- ⇒ revisão ou avaliação da solução proposta para o novo problema, sendo que na maioria dos casos ocorre com intervenção humana;
- ⇒ retenção ou armazenamento do conhecimento adquirido na base de casos.

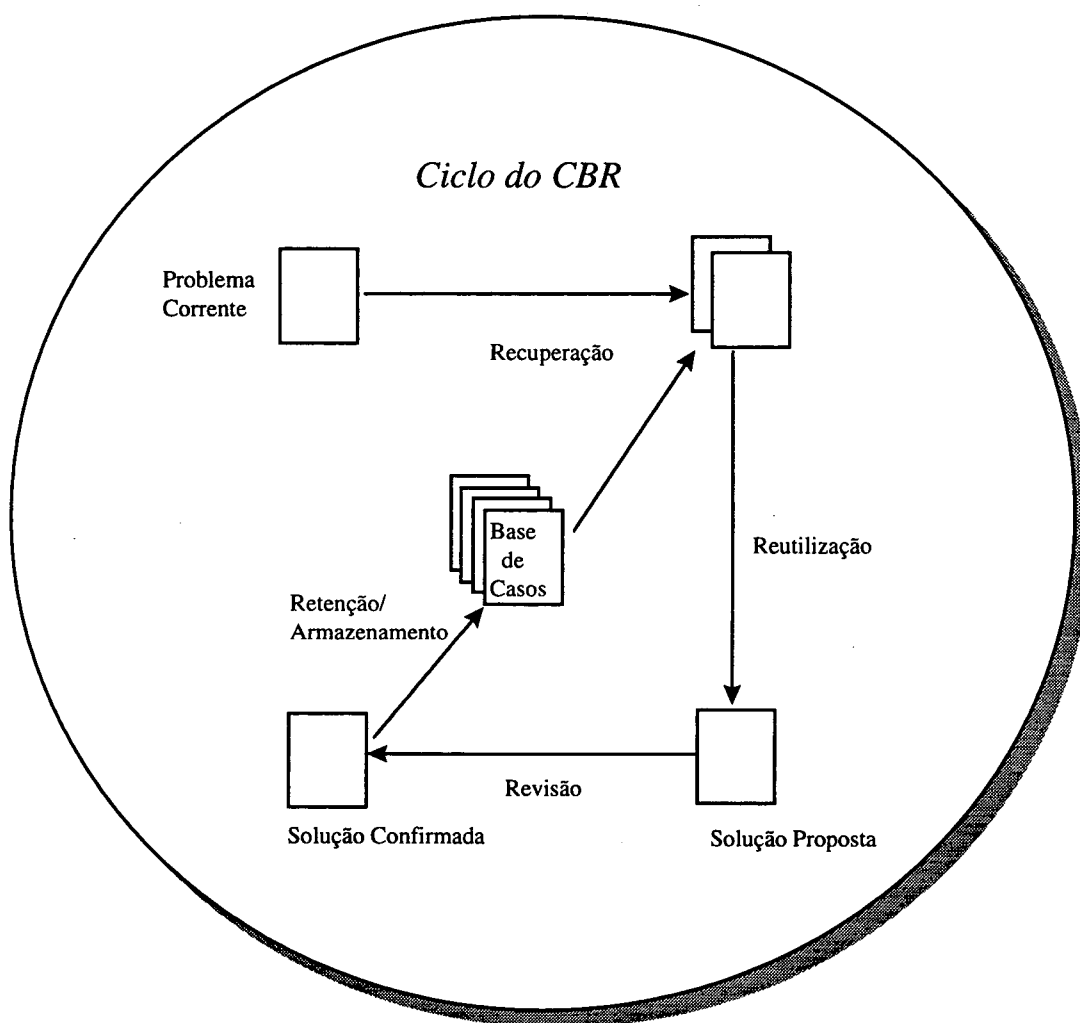


Figura 7 - Ciclo do CBR

A idéia de sistematicamente armazenar e gerenciar o conhecimento coletivo de uma companhia é extremamente atrativa. A abordagem do CBR pode auxiliar organizações a utilizarem seus recursos de forma mais eficiente, permitindo que empregados não especializados recuperem, quando necessário, o conhecimento especialista de um determinado domínio; e, ainda, automatizar rotinas de recuperação de informação em grandes bancos de dados distribuídos.

Aplicações práticas do CBR na indústria podem ser encontradas nas seguintes áreas: projeto, planejamento, centros de chamadas e “help desks” [Thompson, 1997].

Utilização de CBR em telecomunicações, na área de diagnóstico de falhas, pode ser encontrado em [Lewis e Dreio, 1993] e [Lewis, 1993]. Utilizam-se de um componente de resolução de problema baseado em caso em um sistema padrão de despacho de mão de obra. Na terminologia CBR um bilhete de despacho fechado, que é o mesmo que BA, é essencialmente um caso que registra a solução de um problema, o banco de dados dos despachos fechados é a biblioteca de casos. Descrevem mecanismos de recuperação e adaptação destes bilhetes na tentativa de solucionar uma falha nova que é identificada pelo SPECTRUM da Cabletron.

Podemos citar, ainda, a ferramenta de desenvolvimento ReCall da ISoft que tem sido utilizada no desenvolvimento de aplicações em diversas áreas. Na área de telecomunicações, em específico, podem ser citados os sistemas de supervisão de redes, filtragem de alarmes e análise de desempenho [Watson e Marir, 1994].

O CBR apresenta algumas vantagens em relação ao raciocínio baseado em regras, no que diz respeito a situações novas e a necessidade do conhecimento especialista. Uma situação nova é tratada pelo CBR através da recuperação de um caso similar. Feito isto, a solução deste caso deverá ser adaptada à nova situação. Já o caso da necessidade do conhecimento especialista, que é o gargalo dos sistemas baseados em regras, não é problema nesta abordagem; para criar um sistema CBR, não é necessário saber como resolver o problema, bastando, apenas, registrar as informações referentes ao problema e sua solução [Lewis e Dreio, 1993].

O grande desafio a ser enfrentado na abordagem do CBR é determinar quais informações são relevantes no contexto de um caso. Na fase de escolha destas informações, duas medidas

pragmáticas podem ser levadas em conta: a funcionalidade da informação e a facilidade de aquisição da informação representada no caso. Com isso, nota-se que o conhecimento especialista ainda se faz presente nesta fase de organização da base de casos [Watson e Marir, 1994] [Thompson, 1997].

Além do desafio maior de organizar e manter uma compreensiva base de casos, o CBR necessita de técnicas que cada vez mais aprimorem os processos que compõem o seu ciclo, principalmente no que diz respeito a recuperação e adaptação de casos similares. Estes algoritmos não são triviais, incorporando, muitas vezes, no seu contexto: lógica difusa [Kätker e Paterok, 1997] [Lewis e Dreio, 1993][Jeng e Liang, 1995], redes neurais [Reategui *et al*, 1995], MBR [Karamouzis e Feyock, 1994], entre outras.

3.1.7 Outras Abordagens Propostas

3.1.7.1 Algoritmos de Correlação baseados em Máquina de Estado Finito

Nesta abordagem, a topologia da rede de telecomunicações é representada ou por um grafo acíclico dependente, cujos símbolos terminais descrevem os dispositivos que podem estar em falha ou por uma gramática estruturada que descreve um modelo de representação genérico.

Considera-se que a maioria dos alarmes não incluem a informação exata da localização da falha porque esta não é conhecida pelo dispositivo que emitiu o alarme. Entretanto, cada alarme contém uma informação de localização implícita, ou melhor, o alarme pode não especificar a localização da falha mas a restringe à uma possível área afetada.

Caso ocorra n alarmes devido à uma única falha na rede, pode-se afirmar que a falha reside na intersecção do conjunto de localizações indicadas por cada alarme. Desta forma, alarmes que compartilham a área de intersecção devem ser correlacionados.

A correlação é obtida, então, através de algoritmos baseados em máquina de estado finito, com proposta de utilização de heurísticas para a melhoria do desempenho.

O formalismo utilizado nesta técnica tem a necessária generalidade para representar sistemas reais mas apresenta como desvantagem, a explosão de estados quando o sistema representado é complexo [Bouloutas, 1990].

3.1.7.2 Algoritmos de Correlação Distribuída

Redes de telecomunicações são muitas vezes gerenciadas por diversos centros de gerência, sendo que cada um é responsável por uma parte logicamente autônoma da rede. No caso de falha, muitos objetos gerenciados pela rede podem emitir alarmes, que serão enviados ao centro de gerência, em cujo domínio está incluso o objeto. Como consequência, um centro de gerência tem uma visão parcial e incompleta sobre o estado da rede como um todo. Desta forma, problemas que afetem mais de um domínio terão de ser resolvidos coletivamente pelos centros de gerência com a finalidade de determinar a causa raiz da falha. Isto aumenta a complexidade das soluções propostas pela gerência de falhas distribuída [Katzela, 1996].

São apresentadas três abordagens heurísticas com a finalidade de resolver o problema de correlação de alarmes em uma gerência de falhas distribuída [Bouloutas *et al*, 1996]:

⇒ Hierárquica ou Centralizada: considera a existência de um gerente central que tem como função a supervisão de todos os outros centros de gerência, tendo, assim, a visualização de toda a rede. Os problemas que afetam mais de um domínio são resolvidos (correlacionados) por este gerente maior, desconsiderando as gerências específicas por domínio.

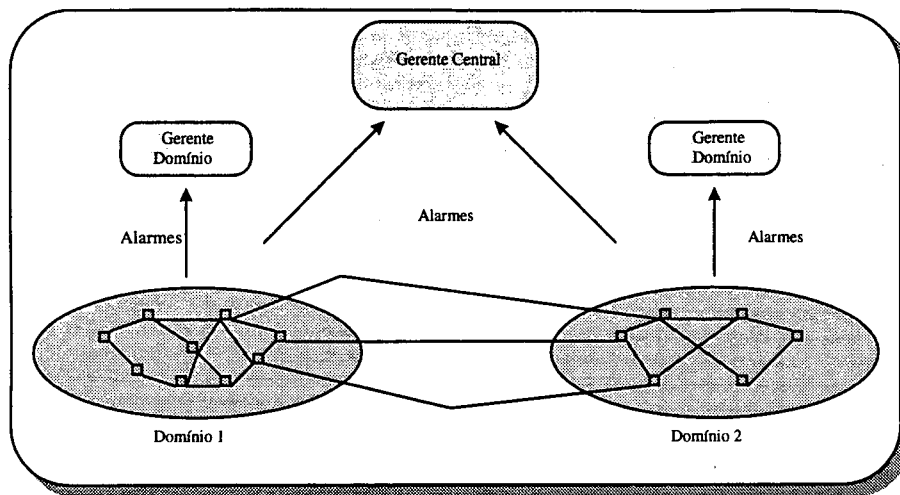


Figura 8 - Correlação Hierárquica

Fonte: [Katzela, 1996]

⇒ Descentralizada: assume a existência de colaboração entre o gerente central e os centros de gerência, específicos por domínio, com o intuito de resolver o problema. Cada centro de gerência calcula uma solução parcial para o problema. Uma solução global será apresentada através da combinação das soluções parciais, caso elas sejam compatíveis. Soluções são consideradas compatíveis quando apresentam a capacidade de explicar todos os alarmes presentes. A função do gerente central é receber as soluções parciais e determinar a solução ótima.

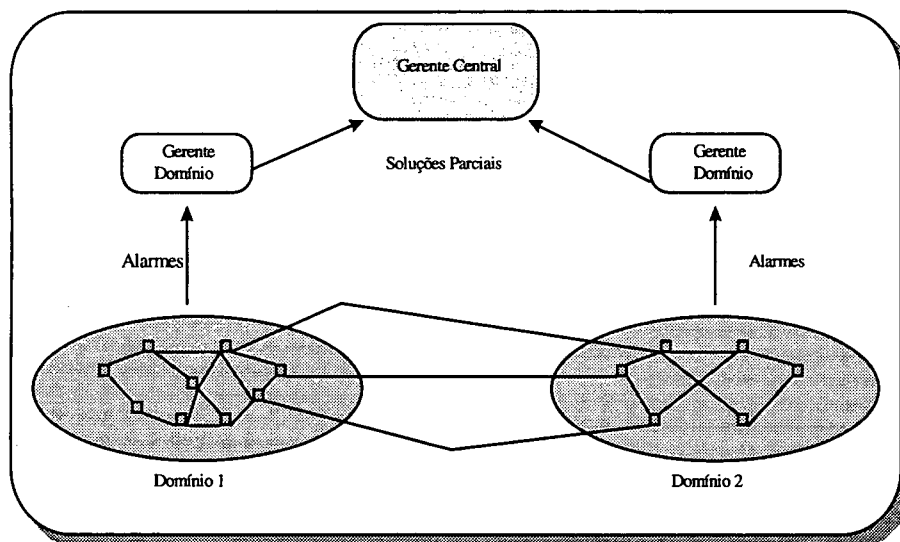


Figura 9 - Correlação Descentralizada

Fonte: [Katzela, 1996]

⇒ Distribuída: desconsidera a existência de um gerente central. Esta técnica tenta encontrar as falhas a partir do ponto de vista de cada um dos gerentes sem o uso de um gerente central. Para melhor entendimento, será fornecido um exemplo que propõe a divisão da rede em dois domínios, 1 e 2, de igual tamanho, cada um possuindo um gerente próprio. Levando-se em conta o domínio 1: no caso de um alarme exceder as fronteiras de ambos os domínios, o domínio 1 atribuirá a este alarme uma probabilidade que ele pertença ao domínio 2. Para isto é composto um nó procurador, que representa todos os objetos gerenciados que estão associados com o alarme, pertencentes ao domínio 2. A solução proposta pelo domínio 1 pode ser obtida através de um algoritmo probabilístico, considerando-se um problema centralizado, baseado em um novo domínio, composto pelo objetos gerenciados do domínio em questão mais os nós procuradores. A solução ótima desta abordagem é aquela composta pelos objetos que sejam encontrados tanto na solução do domínio 1 quanto na solução do domínio 2.

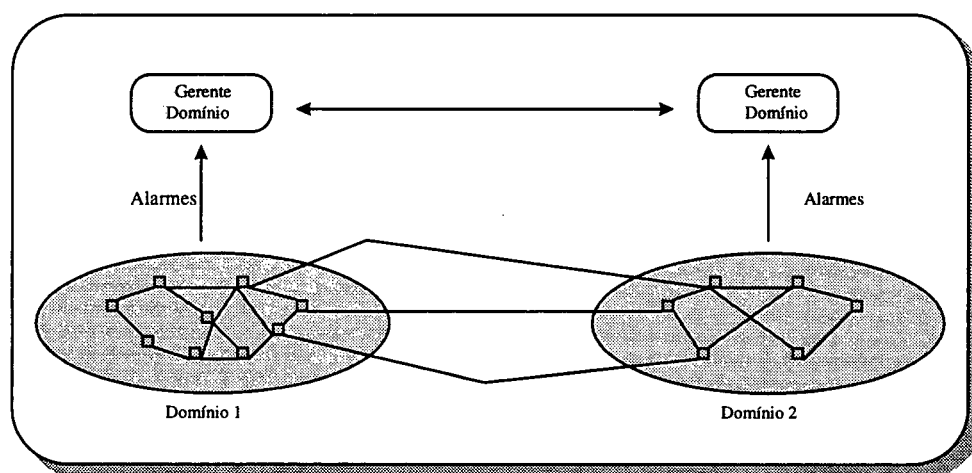


Figura 10 - Correlação Distribuída

Fonte: [Katzela, 1996]

A comparação de desempenho destas três abordagens demonstra que todas tem baixa complexidade polinomial. A abordagem descentralizada além de fornecer sempre a solução ótima, apresenta menor complexidade do que a hierárquica. Já a abordagem distribuída é a de menor complexidade mas nem sempre garante a solução ótima [Katzela et al, 1996].

3.1.7.3 Correlação por Codificação

A correlação efetuada por esta abordagem é baseada em técnicas de codificação [Kliger *et al*, 1995]. Caracteriza-se pelo pré-processamento das informações referentes aos principais alarmes e por estabelecer relações entre os alarmes e seus sintomas. Estas informações compõem uma matriz, denominada “codebook”, cujas linhas são representadas pelos sintomas e as colunas são representadas pelos alarmes. A complexidade da correlação varia diretamente com o número de sintomas presentes no “codebook”. Desta forma, um ótimo “codebook” pode reduzir a complexidade da correlação, substancialmente.

Em uma rede de telecomunicações, muitos alarmes podem ser perdidos. Logo, é essencial que o algoritmo de correlação identifique corretamente um problema, mesmo no caso de ruídos na linha. Na fase denominada de decodificação, tenta-se identificar a possível causa (ou código) dos sintomas através da análise e monitoração em tempo real do “codebook”. Aquele código que mais se aproximar do conjunto de sintomas observados será escolhido como solução. O que define esta escolha entre os códigos pertencentes a um “codebook” é a distância de Hamming.

Os pontos fortes desta abordagem são: desempenho, robustez, versatilidade à alterações na topologia da rede, entre outras [Yemini *et al*, 1996].

3.2 Ferramentas Existentes para Correlacionar Alarmes

Na pesquisa bibliográfica realizada, foram encontrados vários sistemas de correlação de alarmes entretanto poucos são capazes de correlacionar, em tempo real, a quantidade e a variedade de alarmes emitidos por uma rede telefônica

Atualmente, no mercado existem várias ferramentas que se dedicam ao problema de correlação de alarmes. Em [Hedberg, 1996], [Munich, 1997] encontramos uma boa diversidade destes sistemas sendo que cada a grande maioria está baseada na técnica de sistemas especialistas

baseado em regras. A seguir será apresentado uma seleção não exaustiva mas sim representativa destes sistemas.

3.2.1 Event Correlation Services (ECS)

O ECS foi desenvolvido pela Hewlett-Packard (HP) com o intuito de correlacionar grandes volumes de alarmes através de regras de correlação, identificando, com isso, a causa raiz do problema.

As regras estão agrupadas em unidades de processamentos, denominadas nodos, cuja funcionalidade (entrada , saída, filtro, “delay”, combinação, extração, contador, entre outros) é configurada pelo usuário. Agrupando-se estes nodos criam-se circuitos que são compilados e anexados em uma máquina de correlação de eventos, que apresenta, ainda, dados associados e informações de relacionamentos [Hewlett Packard, 1996].

O ECS possui também uma interface gráfica que permite com que as regras sejam criadas interativamente pelo usuário. Feito isto, os circuitos, a quem as regras estão associadas, podem ser testados através de um ambiente de simulação para então serem anexados a máquina de correlação de eventos [Gardner e Harle, 1996].

Apresenta arquitetura distribuída minimizando a complexidade do sistema de correlação central, além de reduzir o tráfego de informações na rede [Meira, 1996].

O sistema ECS suporta eventos primitivos do tipo CMIP, SNMP e ASC, correlacionando estes eventos entre si [Hewlett Packard, 1995].

3.2.2 NerveCenter Pro

O NerveCenter Pro, da Seagate, se utiliza de modelos de comportamento baseados em regras para facilmente filtrar e correlacionar eventos, identificando os problemas críticos e

tomando as atitudes apropriadas. As informações recebidas pelo sistema podem incluir tanto mensagens SNMP quanto as emitidas pelos sistemas HP OpenView e NetView.

Apresenta uma interface gráfica para criar os modelos de comportamento que definem os eventos a serem correlacionados e as ações a serem tomadas. Os modelos são pré-definidos, monitorando-se, assim, tráfego, desempenho, segurança e falha. No caso de ser identificado alguma situação de anormalidade o modelo do comportamento é alterado, executando as ações correspondentes desta nova situação, baseando-se no paradigma de máquina de estados [Seagate, 1997].

3.2.3 InCharge

O “InCharge Event Correlator” desenvolvido pela “System Management ARTS”(SMARTS), é um sistema baseado na correlação por codificação, ou por “codebook”, e na modelagem de diagnósticos.

A correlação por codificação basea-se no fato de que cada problema causa sintomas particulares na rede como um todo. Cada um destes sintomas são identificados através de um código que o InCharge utiliza para determinar o problema [Yemini *et al*, 1996].

A modelagem de diagnóstico orientada a objeto reconhece que cada tipo de elemento apresenta problemas característicos, com sintomas e padrões de propagação específicos. Estas propriedades são independentes da topologia.

InCharge automaticamente gera a tabela de códigos a partir do modelo de diagnóstico e da topologia da rede. Feito isto, a correlação é realizada a partir da comparação dos dados e dos eventos monitorados com os códigos do problema [SMARTS, 1997].

3.2.4 Impact

O sistema Impact, desenvolvido pela GTE laboratories Inc., tem como principal objetivo correlacionar alarmes através de um ambiente inteligente baseado no raciocínio baseado em modelos (MBR). Funciona em conjunto com a plataforma de gerência da GTE, a NetAlert. Esta é responsável pela aquisição das informações primárias, do pré- processamento de determinadas funções, tais como a demarcação do início e fim de cada mensagem, além de executar a filtragem dos eventos.

O ambiente do IMPACT pode ser dividido em duas grandes partes: o ambiente de desenvolvimento e o ambiente de execução. O ambiente de desenvolvimento fornece ferramentas poderosas para a construção da base de conhecimento do sistema enquanto o ambiente de execução executa o parsing das mensagens dos alarmes, correlaciona os alarmes, monitorando, assim, a rede em tempo real.

O desenvolvimento do IMPACT foi realizado através de uma ferramenta de sistema especialista conhecida como ART-IM. Baseado na máquina de inferência desta ferramenta o IMPACT correlaciona os alarmes através de regras com encadeamento para frente [Jakobson e Weissman, 1993].

3.2.5 Outros

Ferramentas específicas para o desenvolvimento de sistemas especialistas, tais como G2 da Gensym, RTie da Talarian foram utilizadas, com sucesso, no desenvolvimento de sistemas de correlação de alarmes na área de telecomunicações.

A grande parte das plataformas de gerência de rede de telecomunicações já oferecem sistemas de correlação de alarmes, que devem ser adaptados à necessidade do cliente. Exemplos destas plataformas: ISM/OpenMaster (Bull), TeMip Framework (Digital), OpenView (HP), SystemView (IBM), entre outras [Munich Network, 1997].

4. Estudo de Caso

Com o intuito de verificar na prática a aplicabilidade de uma técnica inteligente ao problema de correlação e fundamentada no argumento que uma parcela significativa dos sistemas de correlação se utiliza da abordagem baseada em regras [Meira e Nogueira, 1997], especificou-se um protótipo para correlacionar alarmes utilizando-se da técnica de sistema especialista, onde o conhecimento foi codificado em regras.

Como estudo de caso, foi levantado o problema específico da correlação dos alarmes das centrais digitais, que hoje é tratado pelo SAA. A escolha deve-se ao fato de que, além, do SAA ser uma amostra extremamente representativa do processo de correlação, sabe-se do esforço dispendido na criação de seu código, por ser este baseado em técnicas convencionais de programação.

Este estudo de caso se propõe a:

- ⇒ desenvolver um protótipo que realize as principais correlações executadas pelo SAA nos alarmes das centrais digitais, utilizando-se de uma ferramenta inteligente;
- ⇒ realizar uma análise crítica do protótipo desenvolvido;

4.1 Sistema de Análise de Alarmes Inteligente (SAAI)

A metodologia empregada na fase de análise do protótipo foi a análise orientada a objetos (AOO).

O protótipo do SAA inteligente (SAAI) se limita a correlacionar os principais tipos de alarmes das centrais digitais, que são os alarmes oriundos de sistemas de comutação (trancos) e rotas. Por conseguinte as únicas classes do cadastro da rede mapeadas serão as que emitem estes tipos de alarme. A Figura 11 apresenta o modelo representativo das classes e objetos do SAAI:

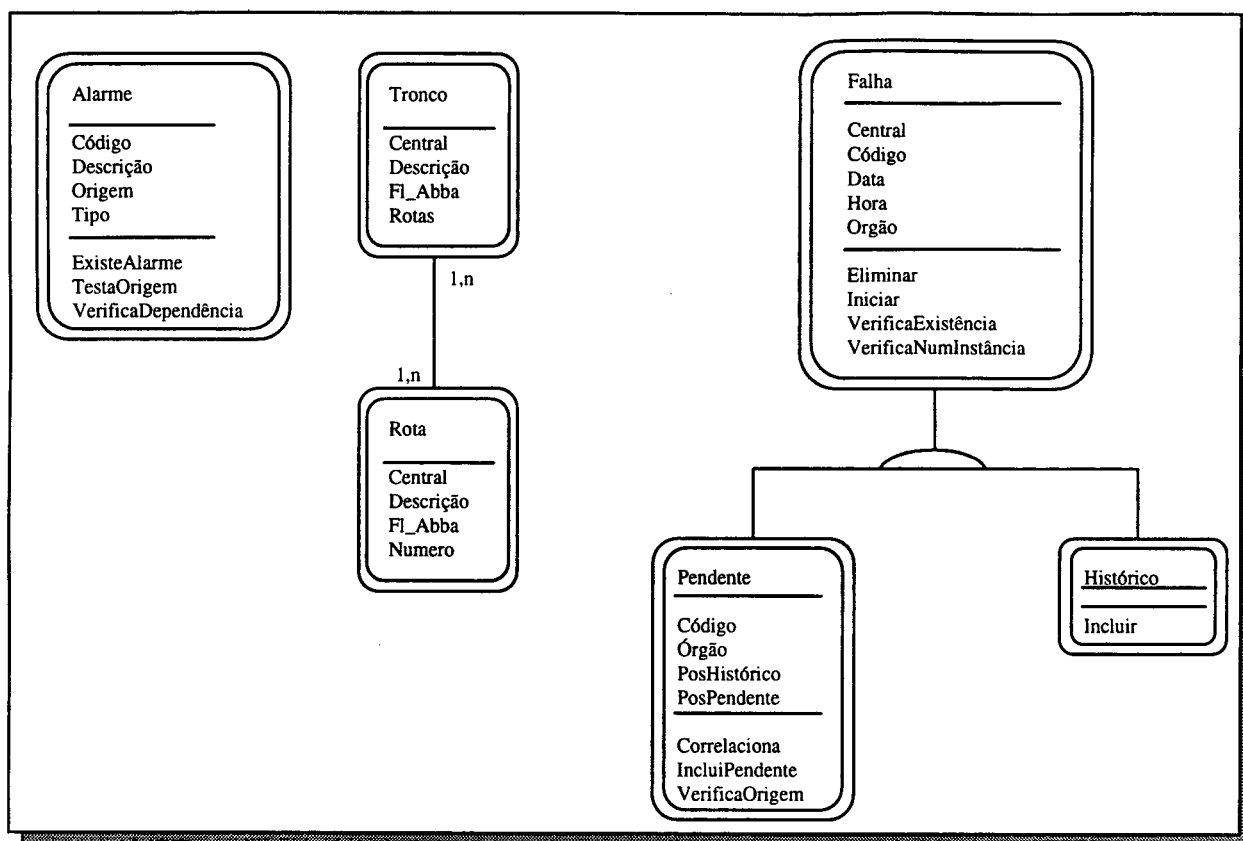


Figura 11 - Projeto Lógico do SAAI

O SAAI apresenta as seguintes funcionalidades:

- ⇒ ler os alarmes já filtrados, isto é, alarmes já padronizados que passaram por um filtro inicial: o de tempo ou pela análise do número de vezes que ele apareceu ;
- ⇒ correlacionar os alarmes entrantes com os que já se encontram na classe dos pendentes . Este protótipo apenas se deterá na implementação das seguintes correlações : Tronco X Rota; Rota X Rota;
- ⇒ gerar gráfico, totalizador de alarmes por mês.;
- ⇒ explicar ao usuário os passos executados pelo sistema .

O sistema inicia o processo de correlação através da leitura dos alarmes filtrados de uma base em dbase. Executada a leitura, o alarme é instanciado, verificando-se suas características básicas. Isto é: qual é o seu tipo (Tronco, Rota ou de Central), quais alarmes que podem ser considerados seus antecedentes e o texto padrão que descreve a falha.

Para a correlação, a informação dos antecedentes de um alarme lido é estratégica, pois é com ela que a classe dos alarmes pendentes é analisada na procura de um dos possíveis alarmes *pai*. Caso encontre, é disparado o ForwardChain para analisar se os alarmes dizem respeito a mesma falha ou não. Um exemplo do encadeamento para frente realizado durante a execução do sistema se encontra na Figura 12.

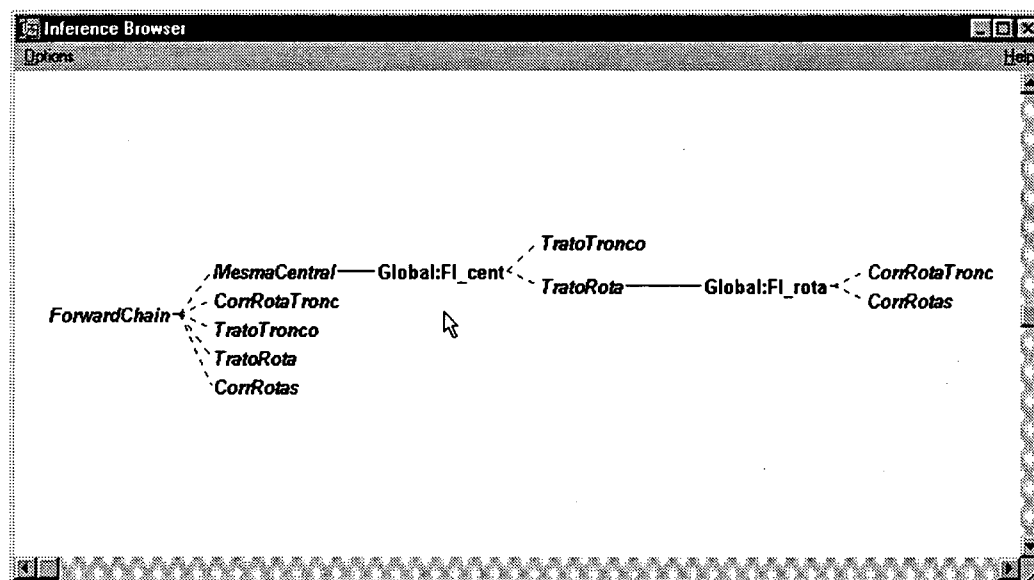


Figura 12 - Árvore do Encadeamento para Frente

Para cada alarme lido é gerado uma instância em uma classe Histórico sendo que o mesmo já não é feito para a classe Pendente. Em uma instância da classe Pendente poderá haver n alarmes, no caso deles se correlacionarem. O alarme se mantém ativo na classe pendente até ocorrer um alarme de desativação ou então ter-se esgotado seu tempo de supervisão.

O alarme lido também é utilizado no cálculo do total de alarmes por mês, que vai sendo atualizado a cada leitura, gerando os dados para o gráfico que é mostrado durante a execução do sistema .

A Figura 13 demonstra a tela principal do SAAI.

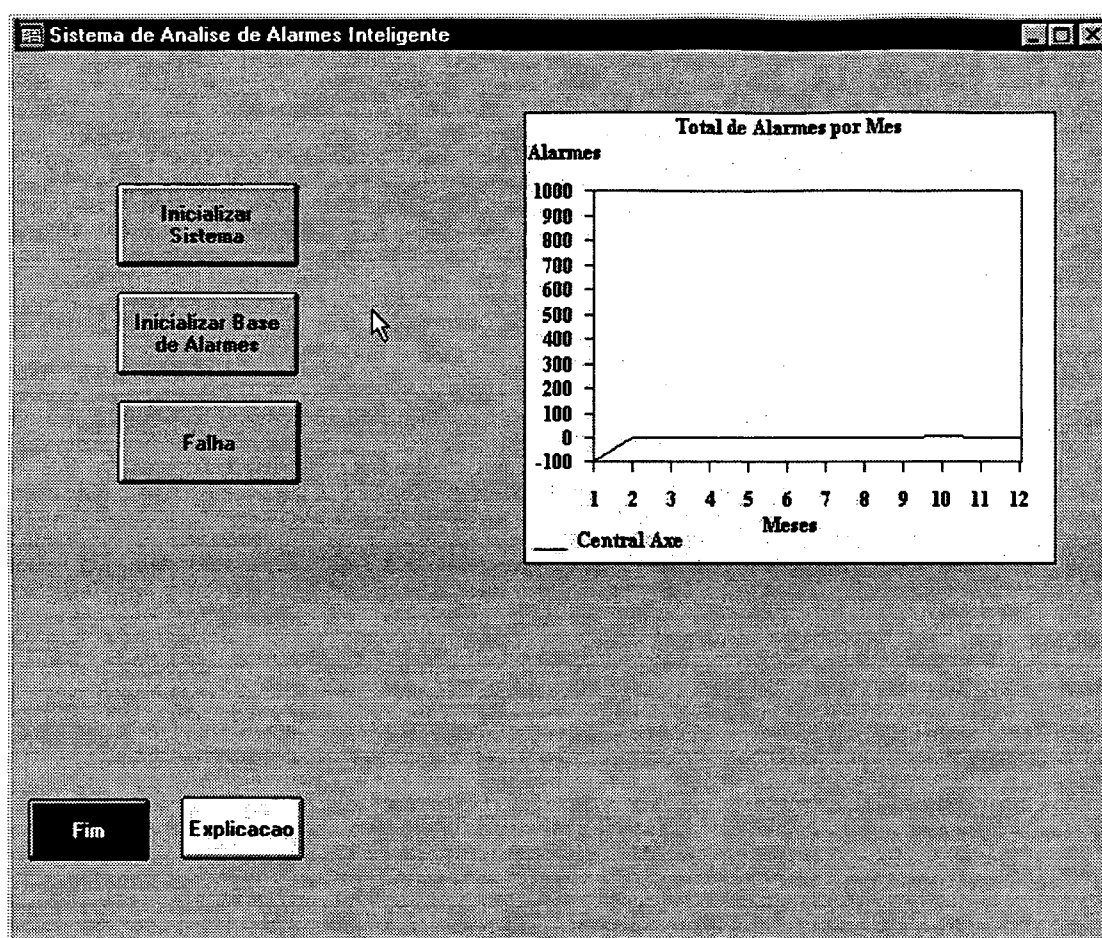


Figura 13 - Tela Principal do SAAI

Foi implementado uma função “trigger” que é disparada de um em um minuto, tempo utilizado no SAA, retirando os alarmes da classe pendente e abrindo bilhetes de atividades que deverão ser transferidos para outro sistema .

A árvore de classes e objetos gerada no decorrer do desenvolvimento deste sistema está representado na Figura 14.

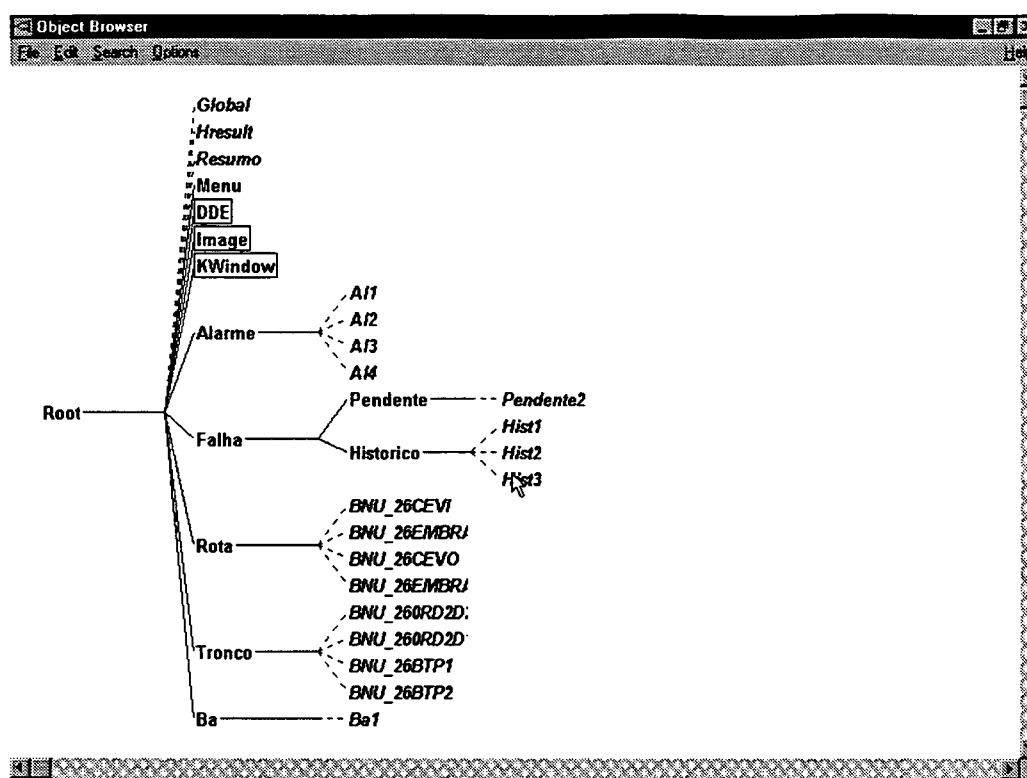


Figura 14 - Árvore de Classes e Objetos

O software básico utilizado na implementação do protótipo foi o Kappa-PC, versão 2.3.2. Por ser a programação do Kappa-PC orientada a objetos, o código gerado no SAAI incorporou todas as vantagens da técnica, o que lhe fez apresentar as seguintes características: o código gerado é menor do que o do SAA, é de mais fácil manutenção e apresenta um alto índice de reaproveitamento, o que não se aplica ao do SAA.

Um dos aspectos mais marcantes é o que diz respeito ao tamanho do código. A parte mais complexa e extensa do SAA, foi a programada no protótipo, só que de forma modular e compacta, reduzindo o tamanho do código em quase 50%. A representação do conhecimento em regras contribui para este fator, já que na técnica convencional o conhecimento está disseminado por todo o código. Para a execução da correlação entre estes dois alarmes (TRONCO e ROTA), considerada uma das mais complexas do domínio de alarmes de centrais digitais, foram utilizados 5 regras. Estima-se que para correlacionar os alarmes tratados pelo SAA, aproximadamente 350 alarmes distintos, necessitem em torno de 12 regras. Este número de alarmes é elevado por se considerar os alarmes externos emitidos pela centrais remotas que enviam seus alarmes através da central mãe. No caso de se considerar somente os alarmes da central mãe o

número de alarmes gerenciados é reduzido para 30, não ocorrendo a diminuição do número de regras já que a correlação existente para alarmes externos se aplica tanto para a central mãe como para as filhas.

O processamento do conhecimento no SAAI é realizado através da máquina de inferência do Kappa-PC, responsável por disparar as regras que melhor se adequam a situação de falha em questão. Esta forma de processar as informações, faz com que o módulo de explicação do raciocínio do sistema especialista seja muito importante, já que é através dele que os usuários irão aceitar os resultados apresentados. No caso do SAAI, o módulo de explicação compreende as seguintes informações: qual o alarme lido, se ela é uma falha independente ou não, se foi executado o Forward Chain ou não e caso tenha sido correlacionado o alarme lido, em qual instância foi incluído. O módulo de explicação não contempla o realizado pelas regras pelo fato da função EXPLAIN (específica para explicar quais regras foram executadas) tornar o sistema muito lento. Exemplo do módulo de explicação está demonstrado na Figura 15.

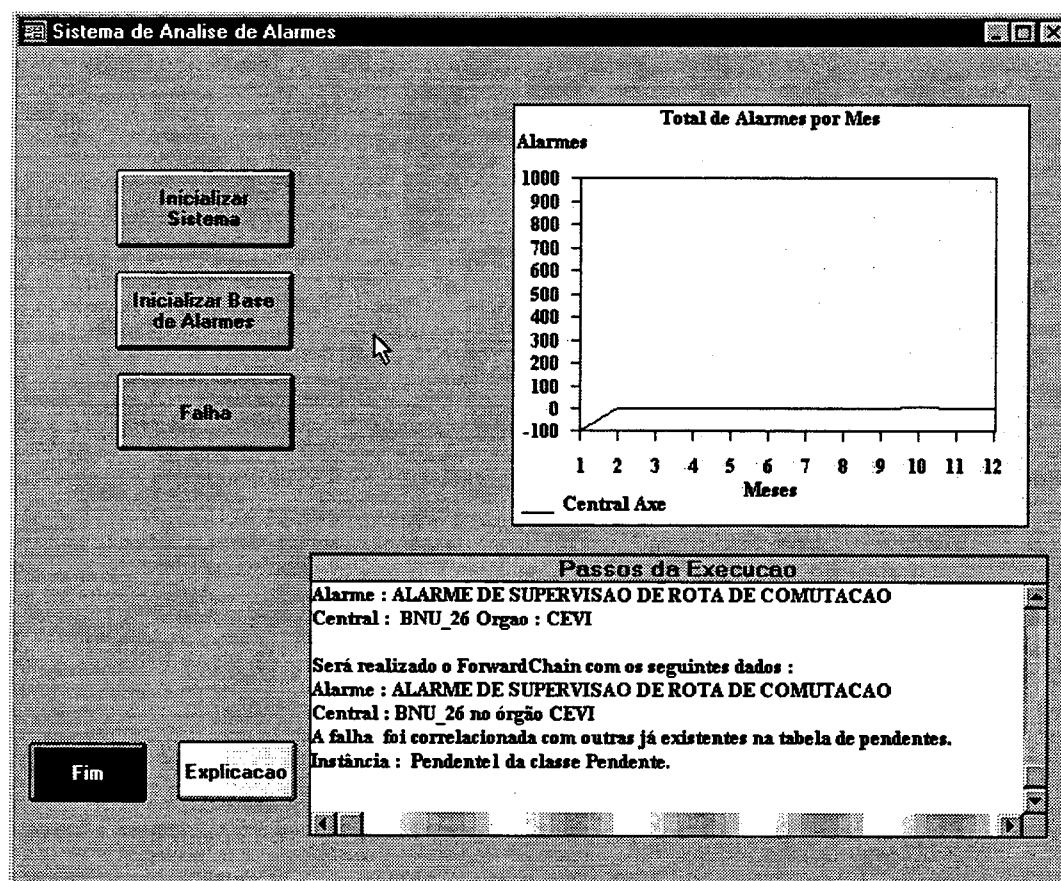


Figura 15 - Módulo de Explicação do SAAI

A “performance” do sistema especialista, em questão, equiparou-se ao do SAA após a base de conhecimento do SAAI ter sido constantemente aprimorada e o código modificado. Estas melhorias foram necessárias para que não fossem disparadas mais de uma regra ao mesmo tempo e o desempenho do processamento do SAAI se tornasse compatível com o do SAA. Verificou-se que quanto mais os recursos da programação orientada a objeto eram explorados mais se aumentava a “performance” do protótipo. No caso em questão, foram substituídas as chamadas de algumas funções por métodos, acarretando uma sensível melhoria no tempo de processamento.

4.2 Considerações sobre a Aplicabilidade da Técnica de Sistemas Especialistas para o Problema de Correlação de Alarmes

Durante o desenvolvimento deste protótipo pode-se aferir tanto as vantagens como as desvantagens da técnica de sistemas especialistas baseado em regras, sendo que algumas desvantagens podem ser atribuídas ao software aplicativo utilizado no desenvolvimento.

As vantagens podem ser descritas como:

- a) a facilidade de expressar as informações adquiridas na fase de levantamento através das regras, já que, normalmente, o especialista expõe seus conhecimentos por meio de expressões formadas por SE ... ENTÃO;
- b) facilidade na recuperação, alteração e inclusão de conhecimento no sistema. Este fato ocorre por estar o conhecimento concentrado no módulo responsável pela manutenção das regras;
- c) compactação e modularização do código em relação ao gerado pelas técnicas convencionais.

Já, as desvantagens levantadas foram:

- a) anexando-se todas as fontes informantes de alarmes em um único sistema especialista, aumentar-se-ia brutalmente o número de regras o que acarretaria em : dificuldades de se detectar os relacionamentos entre as regras disparadas pela máquina de inferência, baixo desempenho e um alto custo de manutenção da base de conhecimento. Além do que, uma base de conhecimento muito grande pode dificultar a identificação de uma regra mal formulada,

levando o sistema a conclusões erradas, podendo tornar o sistema não confiável aos olhos do usuário;

- b) o módulo de explicação das regras implementada no Kappa-PC degradou consideravelmente o desempenho do sistema, o que é relevante por ser o fluxo de alarmes entrantes no sistema muito grande;
- c) no caso do Kappa-PC, verificou-se que para o completo funcionamento do sistema de correlação, este deveria ser particionado em três níveis: o de aquisição e padronização dos alarmes, que por serem oriundos de diversas fontes informantes apresentam-se em formatos distintos, o de filtragem e o nível de correlação de alarmes. Isto acarretaria em um aumento dos esforços dispendidos na programação e um consequente aumento nos custos de manutenção além de tornar o sistema frágil quanto a sua estrutura de manipulação de informação entre os vários níveis.

Conclui-se que o desenvolvimento de um sistema especialista, em Kappa-PC, para correlacionar os alarmes de todas as fontes informantes de uma empresa de telecomunicações, pode além de ser complexo e apresentar um alto custo de implementação e manutenção, ser limitado em muitos aspectos. Em se restringindo a abrangência da correlação efetuada, o correlacionador poderá trazer algum benefício, amenizando as desvantagens apresentadas, mas, isto, dependerá exclusivamente dos objetivos, em relação à gerência de falhas, traçados pela empresa de telecomunicações em questão.

5. Proposta de Metodologia para o Desenvolvimento de um Sistema de Correlação de Alarmes

Durante a fase de análise e estudo sobre este tema, foi levantado uma série de questionamentos que, com certeza, já devem ter ocorrido a todos que estiveram envolvidos no desenvolvimento de tal sistema.

1. Qual software será utilizado para correlacionar alarmes? Será desenvolvido um software proprietário, como tantos outros já desenvolvidos, ou será adquirido um produto existente no mercado que se destine exatamente a esta finalidade, ou, ainda, adquirir uma plataforma de gerência de rede que já apresente ferramentas neste sentido? Caso se opte pelo desenvolvimento proprietário qual método escolher para representar o conhecimento?
2. Em paralelo a questão anterior, está a questão do hardware envolvido. Há alguma limitação de equipamento por parte da empresa? Estará ela em condições financeiras de investir na aquisição de novos equipamentos, caso necessite?
3. Definida estas etapas, depara-se com o principal problema: como correlacionar as várias fontes informantes de uma rede telefônica, onde os alarmes estão disponibilizados através de protocolos e formatos totalmente diferenciados ?

Todas estas questões foram exaustivamente estudadas até se chegar na proposta de um plano de desenvolvimento de um sistema de correlação de alarmes.

5.1 Metodologia para o Desenvolvimento de um Sistema de Correlação de Alarmes

I. Fase - Definição da Plataforma de Desenvolvimento

Seguindo as tendências mundiais e tendo como base estudos realizados para a implantação de uma rede de gerência [Sortica, 1997a], sugere-se o desenvolvimento do sistema de correlação baseado em uma plataforma TMN.

Para que o desenvolvimento deste sistema seja exequível é necessário que a plataforma apresente os seguintes requisitos [Tadashi *et al.*, 1997]:

- ⇒ reduza custos e tempos de desenvolvimento dos sistemas;
- ⇒ isole as aplicações desenvolvidas das características tecnológicas do ambiente computacional;
- ⇒ permita a crescente evolução, de “hardware” e “software”, da plataforma;
- ⇒ torne transparente os detalhes de implementação dos serviços de acesso aos protocolos de gerência;
- ⇒ forneça acesso aos recursos e serviços da plataforma por meio de interfaces padronizadas.

A plataforma escolhida também deverá oferecer aplicações genéricas de gerência, cobrindo as áreas de gerência de falha, gerência de desempenho, facilidades para gerenciamento de “log” e exibição gráfica da topologia da rede. Além da aplicação genérica de falhas, verificar a existência de alguma ferramenta/produto que possibilite a correlação dos alarmes tratados e que incorpore funções básicas intrínsecas a este problema.

II. Fase - Definição da Ferramenta de Correlação

A ferramenta/produto escolhida deve preencher os seguintes requisitos:

- ⇒ incorpore, de maneira fácil e de forma não procedural, o conhecimento adquirido do domínio do problema;
- ⇒ processar um volume grande de eventos;
- ⇒ correlacionar eventos de protocolos diferentes, tais como CMIP, SNMP e ASC;
- ⇒ suportar vários formatos de alarmes e converta para os campos especificados pela X.733 [ITU-T, 1992];
- ⇒ disponibilizar, visualmente, os alarmes através de critérios definidos pelo operador, tais como: severidade, localização geográfica, órgão em falha, data, hora, entre outros;
- ⇒ disponibilize a visualização dos alarmes que apresentem causa comum;
- ⇒ permita que a filtragem e a correlação dos eventos possa ser distribuída;
- ⇒ apresente várias formas de filtragem;
- ⇒ armazene um histórico de alarmes;

- ⇒ recupere e disponibilize a história de problemas/falhas que ocorreram em um determinado componente/elemento da rede;
- ⇒ localizar, no mapa da rede, o componente/elemento em falha através da seleção de um determinado alarme na lista de alarmes;
- ⇒ fornecer interação com o banco de dados;
- ⇒ apresentar API para construção de mapas gráficos;
- ⇒ possibilitar vários níveis de mapas simultaneamente;
- ⇒ criação de um novo evento, configurável, através da chegada de 2 ou mais eventos no sistema;
- ⇒ ambiente de simulação que compreende a chegada dos alarmes, filtragem e correlação;
- ⇒ possibilitar a interação com outros sistemas;
- ⇒ permitir a customização do sistema;
- ⇒ seja independente da plataforma TMN.

Um dos requisitos indispensáveis para uma ferramenta de correlação é que ela seja distribuída. A correlação quanto mais próxima possível da fonte informante melhor, para que o processo seja rápido, eficiente e inteligente.

III. Fase - Levantamento do Conhecimento sobre a Correlação dos Alarmes de uma Determinada Fonte Informante

Iniciar o levantamento do comportamento dos alarmes de uma determinada fonte informante com o especialista da área. Caso a equipe seja composta por vários indivíduos, o levantamento pode ser realizado nas várias fontes, paralelamente.

Durante a análise do comportamento os principais pontos a serem considerados são:

- a) as informações disponibilizadas no alarme;
- b) a identificação da área coberta pelos alarmes, verificando se já existe um cadastramento de tais elementos no mapa da rede;
- c) ficar atento as “coincidências” na sequência de aparecimento de alarmes; muitas vezes durante o levantamento, o especialista se prende a um determinado alarme, não se preocupando com os outros, que considera dispensável. É função do engenheiro do conhecimento de resgatar este conhecimento sobre o encadeamento de alarmes.

- d) a cada alarme analisado, verificar as ações a serem realizadas sobre ele (filtragem, contador de ocorrências, entre outras);
- e) em algumas situações, um grupo de alarmes pode configurar uma única situação; onde o sistema de correlação pode gerar um evento, somente, que represente estes alarmes.

Elaborar a árvore de encadeamento dos alarmes, agregando a cada ramo da árvore o conhecimento adquirido. Normalmente, o conhecimento é representado através de regras que é a forma natural que o especialista se expressa. Feito isto, inicia-se etapa de criação dos circuitos de correlação.

É aconselhável que se crie a figura de um engenheiro do conhecimento que concentre a documentação gerada nesta fase. Pode haver um único engenheiro de conhecimento para todas as fontes informantes, ou então, um para cada uma. O essencial é que esta documentação esteja sempre atualizada pois dela depende o sucesso do projeto.

IV.Fase - Análise dos Relacionamentos Existentes entre as várias Fontes Informantes

Finalizada a etapa anterior para as várias fontes informantes, inicia-se o estudo sobre os relacionamentos existentes entre estas. Estes relacionamentos ocorrem quando duas ou mais fontes informantes supervisionam os mesmos objetos da rede telefônica.

Esta fase é uma das mais complexas, pois além de envolver o conhecimento sobre os alarmes, é necessário um profundo conhecimento sobre o mapa da rede a fim de determinar a intersecção entre domínios das fontes informantes.

O resultado, muitas vezes, é a reestruturação ou eliminação de alguns circuitos ou, então, a criação de novos circuitos, sempre com a consequente modificação nas regras de conhecimento. Mais uma vez, aqui, se reforça a idéia de uma ou mais pessoas responsáveis por este tipo de informação estratégica.

Considerando ser a máquina de correlação distribuída, concentra-se, aqui, o conhecimento dos alarmes a serem correlacionados em um nível mais elevado.

V. Fase - Início do Desenvolvimento

Pode-se dividir a fase de desenvolvimento em duas fase distintas: a de aquisição dos alarmes e a de análise e correlação dos alarmes;

A primeira fase pode iniciar independente do sistema de correlação. Adquirindo a plataforma TMN, tem-se plena capacidade para desenvolver os “agentes/gerentes” que intermediarão com os objetos da rede para a obtenção dos alarmes

Já, a fase do desenvolvimento do efetivo sistema de correlação deverá iniciar pelos circuitos montados para as fontes informantes. Caso a fonte informante apresente uma série de circuitos montados, deverá ser desenvolvido uma máquina de correlação individual para ela. Em caso contrário, os alarmes podem ser enviados diretamente para o nível de correlação superior. Estes passos devem ser executados para cada fonte informante. O conhecimento sobre os relacionamentos entre as fontes deve estar previsto no nível de correlação superior.

O que se deve deixar claro é que as fases de desenvolvimento são independentes desde que se simule a chegada dos alarmes durante o desenvolvimento da segunda fase, permitindo, assim, que as duas fases sejam executadas em paralelo. O que não se pode esquecer é que uma complementa a outra, e que na fase de implantação, obrigatoriamente, deverão estar finalizadas.

A estrutura física do sistema de correlação está demonstrado na figura abaixo:

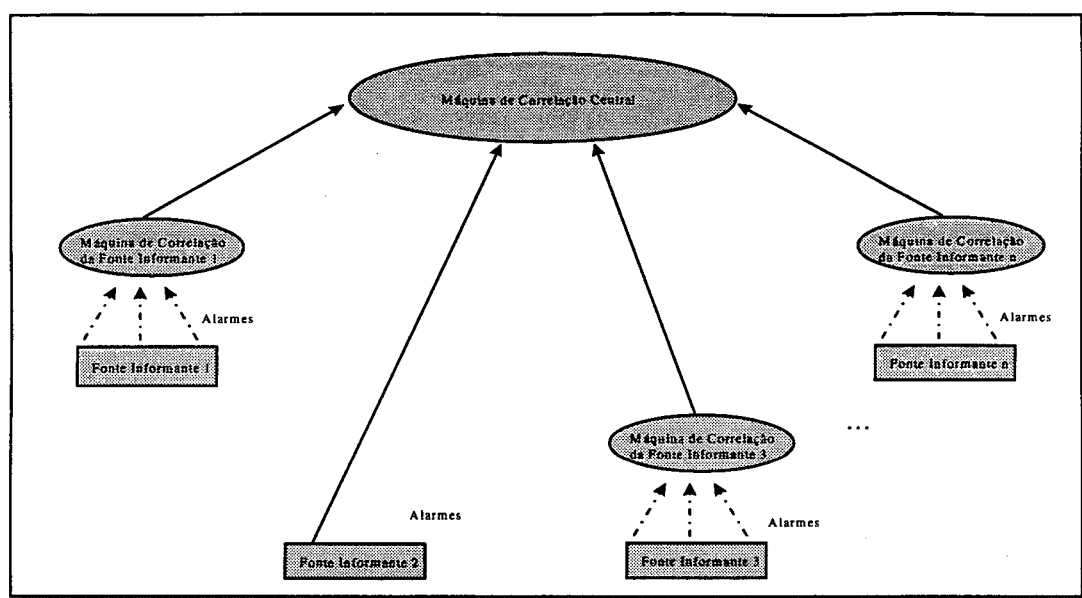


Figura 16 - Mapa do Sistema de Correlação

VI.Fase - Validação do Conhecimento

À medida que os níveis de correlação vão sendo desenvolvidos é aconselhável que o conhecimento inerente a cada um vá sendo testado e validado, de preferência em conjunto com o(s) especialista(s) envolvido(s).

É nesta fase que o ambiente de simulação da ferramenta/produto utilizada no desenvolvimento do sistema é muito importante pois permitirá simular e validar as situações descritas pelo especialista nas fases de levantamento do conhecimento (fases III e IV).

Caso ocorra uma situação não prevista ou uma situação que não tenha sido corretamente descrita, a documentação gerada, circuitos lógicos e as regras, deverá ser revista e atualizada.

VII.Fase- Implantação

A fase de implantação deverá ser gradual. Inicialmente deverá ser testado a aquisição dos alarmes em conjunto com a máquinas de correlação de cada fonte informante. Feito isto, deverão ser implantadas, no máximo, duas fontes informantes, para que se tenha um sentimento de como o sistema, como um todo, está reagindo. Mais uma vez os dados deverão ser validados

por um tempo, até se averiguar a exatidão dos resultados. Aconselha-se a não automatizar, desde já, a comunicação com o sistema de despacho de mão de obra, para que não ocorra prejuízo no caso de alguma análise errada por parte do sistema de correlação.

A anexação de mais uma fonte informante, faz com que o procedimento de validação se repita, até que todas estejam plenamente integradas ao sistema. O usuário é que deverá determinar quando que as informações oriundas do sistema de correlação poderão ser consideradas confiáveis para os demais níveis de gerência da empresa.

5.2 Proposta de um Sistema de Correlação para uma Fase de Transição

Já foi visto que com o crescente desenvolvimento tecnológico das redes de telecomunicações, a proposta de utilização da arquitetura TMN, para a gerência de rede de telecomunicações, deverá se difundir pelas empresas do ramo.

Empresas que por algum motivo estão impossibilitadas de adquirir uma plataforma TMN, inviabilizam a aquisição dos alarmes, através de interfaces padronizadas, necessitando, assim, de uma solução transitiva para o desenvolvimento de um sistema de correlação.

A solução proposta para esta situação está baseada em dois dos requisitos propostos para a ferramenta/produto de correlação: o de ela ser independente da plataforma e o de ser capaz de ler os alarmes em ASCII. O fato da ferramenta/produto ser independente da plataforma assegura o desenvolvimento das máquinas de correlação enquanto a aquisição de alarmes se restringirá a leitura, em ASCII, dos alarmes gerados pelos atuais sistemas da gerência de falhas. Para isto, estes sistemas deverão ser modificados para que em vez de gerarem BA, gerem alarmes. Estes alarmes já estão de certa forma tratados e filtrados, fazendo com que, em muitos casos, os circuitos de correlação, inicialmente projetados, sejam adaptados a esta situação. Por estes alarmes já terem passado por um certo tratamento, é de se esperar que os circuitos de correlação específicos por fonte informante se tornem menos complexos. Já a máquina de correlação central não será afetada.

A deficiência desta proposta é que ela se restringe aos sistemas de supervisão existentes no ambiente de gerência de falhas da empresa. Caso a empresa, atualmente, não apresente uma visão sistêmica no tratamento da falha, esta solução não será viável.

O projeto proposto para o sistema de correlação de alarmes, em uma fase de transição, poderia apresentar a seguinte estrutura física:

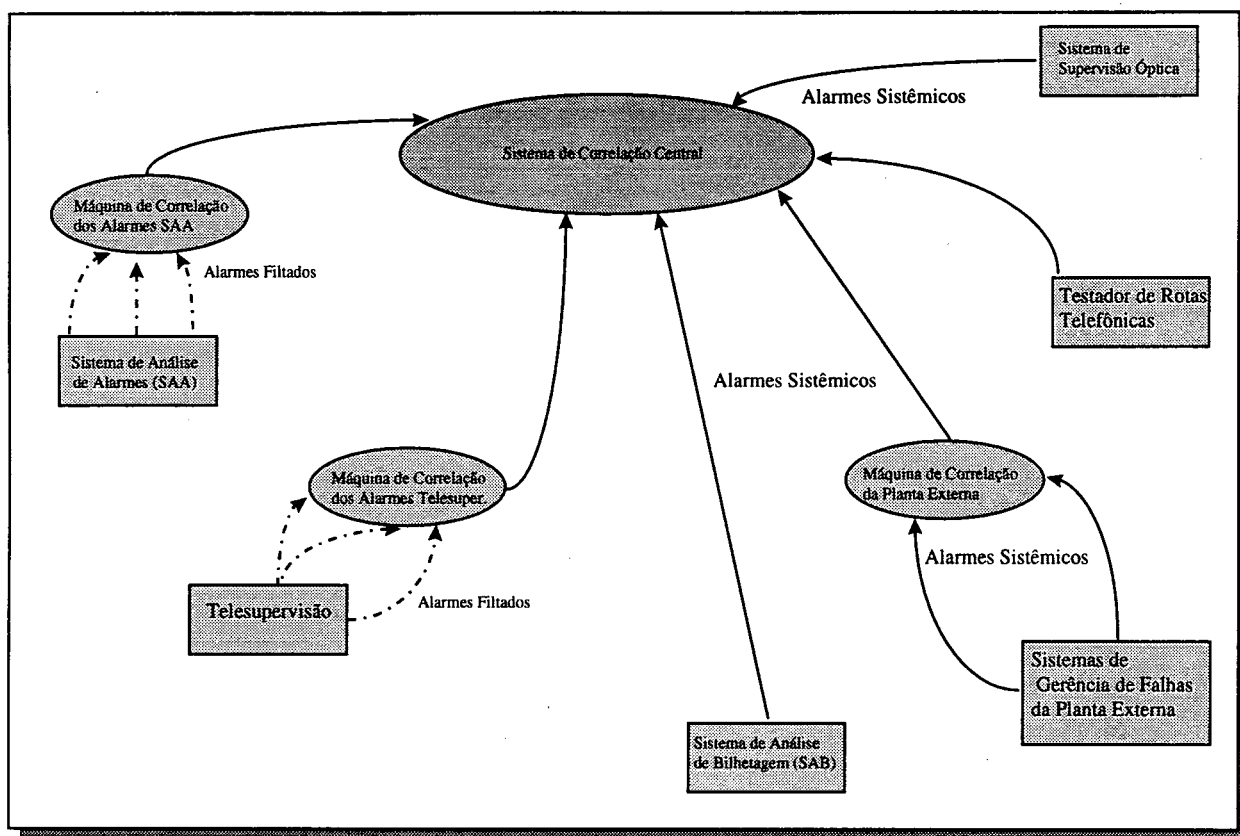


Figura 17 - Sistema de Correlação de Alarmes em uma Fase de Transição

No momento que a plataforma for adquirida os sistemas, fontes informantes de alarmes, iriam sendo gradativamente substituídos pelos interfaces padronizadas com os elementos de rede, “agentes/gerentes”, e as máquinas de correlação iriam sendo acrescidas do conhecimento que hoje estão embutidas nestes sistemas.

6. Conclusões

Neste final de século, a grande velocidade do desenvolvimento científico e tecnológico agregado às decorrentes facilidades de transmissão e acesso viabilizaram a popularização da busca e geração de informações, fazendo com que a capacidade das redes de telecomunicações bem como a dos sistemas computacionais empregados estejam em um processo contínuo de expansão com o intuito de suprir as crescentes demandas por novos serviços, relacionados ao uso intensivo da informação.

É neste contexto que as empresas de telecomunicações estão promovendo mudanças profundas em suas diretrizes almejando aumentar a qualidade de seus serviços prestados, o nível de satisfação do cliente e a lucratividade.

Uma das alternativas que está sendo considerada, neste processo de mudança, é a utilização de uma plataforma TMN com o intuito de normalizar a gerência de redes de telecomunicações. A TMN, através da combinação dos recursos disponíveis dos equipamentos de comunicação digital com os recursos de informática, proverá meios para a obtenção da máxima produtividade da planta além de assegurar o serviço prestado pela rede.

A funcionalidade de gerência da TMN é agrupada em camadas que restringem a atividade de gerência dentre de limites muito bem definidos. Dentre estas, se encontra a gerência de redes que é responsável por relacionar os elementos de rede individualmente ou em conjunto, possibilitando a visão da rede como um todo, gerenciando, assim, todos os equipamentos e recursos da rede.

A gerência de falhas é uma das cinco áreas funcionais que compõem a gerência de redes. As informações coletadas, em conjunto com as informações do mapa da rede indicam quais os objetos que estão em funcionamento, manutenção ou fora de operação. O gerenciamento de falhas pode prover um registro de ocorrências e um diagnóstico de falhas que possibilite correlacionar os vários alarmes que apresentem causa comum.

A gerência de falhas é uma das mais complexas e amplas funções realizadas no âmbito da gerência integrada de redes devido ao dinâmico desenvolvimento tecnológico das redes de telecomunicações. Esta situação é ainda pior no caso de uma rede formada por componentes/elementos de vários fabricantes. Os alarmes compõem uma amostra representativa desta complexidade, pelo fato de apresentarem formatos próprios, implicando em diferenciação da descrição da falha e até mesmo da identificação do órgão afetado.

Sem um processo único que concentre, padronize e correlacione os alarmes, oriundos das diversas tecnologias, irá ocorrer, sem dúvida, a duplicação de despacho de mão de obra especializada, na tentativa de solucionar a falha, acarretando um prejuízo considerável. É para esta situação que se define o sistema de correlação de alarmes como uma ferramenta poderosa para a detecção e isolação da falha. Este sistema consiste na interpretação e análise do conteúdo dos múltiplos alarmes emitidos, tendo como objetivo reduzir o número de eventos e enriquecer o significado dos que são visualizados pelo administrador da rede. A existência de um sistema deste porte, desenvolvido de maneira apropriada, é garantia de:

- ⇒ rapidez e segurança na detecção e correção de falhas;
- ⇒ manutenção da qualidade dos serviços prestados pela rede;
- ⇒ racionalização do despacho de mão de obra na correção da falha;
- ⇒ utilização dos especialistas em outras funções que não a de padronização/análise/correlação de alarmes;
- ⇒ melhoria no atendimento do cliente;
- ⇒ diminuição da perda de receita.

Além destas vantagens, pode-se afirmar que para uma empresa de telecomunicações, uma gerência efetiva sobre os alarmes gerados pela sua rede, é sinal de qualidade de seus serviços e, por consequência, um pré-requisito para se manter competitivo no mercado.

Na pesquisa bibliográfica realizada sobre sistemas de correlação de alarmes de telecomunicações verificou-se uma especial diversidade no que diz respeito as técnicas utilizadas no desenvolvimento de tais sistemas. As principais constatações, em relação as diferentes abordagens, são:

⇒ Sistemas especialistas baseados em regras;

No caso específico de redes de telecomunicações, devido a sua complexidade e natureza dinâmica, é extremamente árdua a tarefa do engenheiro do conhecimento de elaborar as regras antes que a topologia da rede tenha se modificado, invalidando um expressivo número de regras. Para sistemas como este, a construção da base de conhecimento é a fase mais crítica em relação ao tempo de desenvolvimento de um sistema especialista, tornando-se o grande gargalo da técnica. Mesmo, assim, uma parcela representativa dos sistemas analisados utiliza-se desta abordagem. Um dos motivos é a difusão da técnica em softwares básicos que propiciam este tipo de desenvolvimento.

⇒ Sistemas baseados em modelos;

O problema de modificar e estender a base de conhecimento, em casos de reconfiguração da rede e inclusão de novos tipos de elementos de rede, é solucionado nesta técnica através da separação do conhecimento em dois: estrutural e comportamental. No caso de domínios complexos e abrangentes é muito importante definir o nível de abstração do modelo, influenciando diretamente no desempenho do sistema, já que detalhes não capturados em um sistema podem afetar o diagnóstico.

⇒ Lógica difusa

No caso específico de correlação de alarmes, a introdução da lógica difusa, mais precisamente, das variáveis linguísticas “fuzzy, nas regras de correlação tornam o sistema muito mais poderoso no que diz respeito às conclusões obtidas pela máquina de inferência.

⇒ Redes Bayesianas

A grande vantagem das redes Bayesianas é o fornecimento de uma base teórica que combina dados estatísticos com conhecimento a priori sobre o domínio do problema. No caso do domínio de telecomunicações a tarefa de estimar todas as probabilidades condicionais torna o uso da técnica inviável na prática.

⇒ Redes Neurais

No caso de correlação de alarmes de uma rede de telecomunicações a rede neural pode apresentar um inexequível tempo de processamento na fase de treinamento quando seus vetores de entrada forem super dimensionados. Pode-se amenizar esta situação através da decomposição do problema em pequenas unidades independentes sendo que para cada uma delas é associada uma rede neural. Estas caracterizam-se por convergirem mais rapidamente e pela facilidade de treinamento. Na utilização desta técnica para correlacionar alarmes devem ser consideradas as situações onde o alarme nunca tenha sido ocorrido anteriormente ou então quando não se conhece o seu comportamento.

⇒ Raciocínio Baseado em Casos

Na fase de organização da base de casos existe ainda a presença do conhecimento especialista no que diz respeito à identificação das informações relevantes no contexto do caso. Duas medidas podem auxiliar neste processo de avaliação: a funcionalidade da informação e a facilidade de obtenção da informação representada no caso.

⇒ Algoritmos Específicos para a Correlação de Alarmes

Novos paradigmas para a correlação de alarmes em ambientes de gerência centralizados e distribuídos são representados através destes algoritmos. Analisam o problema de correlação de alarmes de modo científico através de uma base matemática exemplar. Sua desvantagem é a inexistência de uma ferramenta de mais alto nível que os incorpore, facilitando, assim, a sua utilização em desenvolvimentos de tais sistemas.

⇒ Correlação por Codificação

Os pontos fortes desta abordagem são: desempenho, robustez e versatilidade à alterações na topologia da rede, apesar de que no caso de redes de telecomunicações muito grandes como também no caso de falhas encadeadas, o codebook gerado pode ser muito grande. Outro ponto a ser considerado é que em cada mudança de topologia o codebook deverá ser gerado novamente.

No levantamento das técnicas utilizadas em sistemas de correlação de alarmes de telecomunicações verificou-se a inexistência de um consenso sobre qual método seria o melhor a se utilizar. Perante esta situação, no momento em que se toma a decisão de desenvolver um produto próprio para correlacionar alarmes, o responsável por este projeto deverá estar ciente das

vantagens e limitações que envolvem cada técnica, não somente através de informações teóricas mas também através de aplicação prática, considerando os objetivos a serem alcançados pelo produto. A exemplo disto, no capítulo IV é apresentado um protótipo para correlacionar alarmes que foi desenvolvido com o intuito de testar a técnica de sistemas especialistas para este problema em especial.

Para o desenvolvimento de um sistema de correlação de alarmes, por ser este extremamente complexo e abrangente, é de fundamental importância o uso de uma metodologia apropriada que identifique e esclareça as principais etapas ou questões críticas que permeiam o seu desenvolvimento.

Ao longo dos anos onde se trabalhou na área de gerência de falhas de telecomunicações e no decorrer da elaboração desta dissertação, não se teve conhecimento da existência de nenhuma outra metodologia para desenvolvimento de sistemas de correlação de alarmes.

A proposta de metodologia para o desenvolvimento de um sistema de correlação de alarmes contempla desde a definição de hardware e software até a implantação do sistema. Estas duas primeiras etapas tem importância vital no desenvolvimento do sistema pois são elas que darão a agilidade e eficiência necessária ao sistema.

A utilização de uma plataforma TMN irá fornecer ao sistema a interoperabilidade necessária com os demais sistemas de gerência além de já estar se adequando a uma tendência que a médio prazo será uma realidade.

A compra de uma ferramenta/produto que preencha os requisitos exigidos pela metodologia facilitará ao grupo desenvolvedor no sentido em que os esforços serão concentrados no levantamento do conhecimento da correlação e não na programação de funcionalidades tais como filtro, contador, “delay”, padronização, entre outras. A ferramenta/produto deverá necessariamente ser distribuída já que quanto mais próxima da fonte informante mais eficiente a correlação.

O grande desafio deste sistema é obter o conhecimento sobre os alarmes, seu comportamento na rede, quando e porque se correlaciona com outros. São informações que devem ser constantemente validadas até se tornarem totalmente estáveis pelo fato de inexistir nas empresas de telecomunicações o “Know How” na análise deste nível de informação.

Para empresas que não apresentem condições de aquisição imediatas de uma plataforma TMN é apresentado uma solução transitiva para o sistema de correlação. Esta solução se baseia nos atuais sistemas de gerência de falhas que atuam nas plataformas proprietárias. Por estes sistemas exercerem o papel de fontes informantes de alarmes, o sistema correlacionador a ser desenvolvido seria menos complexo pois os alarmes recebidos já teriam sido filtrados anteriormente. No caso da empresa não apresentar alguma visão sistêmica no tratamento da falha, esta solução transitiva não será viável.

As recomendações para trabalhos futuros dizem respeito a:

- ⇒ composição das regras e circuitos de correlação das diversas fontes informantes de alarmes;
- ⇒ composição das regras e circuitos de correlação existentes entre as diversas fontes informantes;
- ⇒ desenvolvimento de agentes/gerentes para a aquisição dos alarmes na plataforma TMN;
- ⇒ desenvolvimento de um sistema de correlação genérico para redes de telecomunicações;
- ⇒ utilização da metodologia proposta no desenvolvimento de tal sistema.

7. Referências

- [Aamodt e Plaza, 1994] Agnar Aamodt e Enric Plaza. Case based reasoning : foundational issues, methodological variations, and system approaches. In *AICom - Artificial Intelligence Communications*, Vol. 7, Nº 1, 1994.
- [Bouloutas, 1990] A. Bouloutas. *Modeling fault management in communication networks*. PhD thesis, Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University, 1990.
- [Bouloutas *et al*, 1996] A. T. Bouloutas, S. B. Calo, e I. Katzela. Distributed fault identification in telecommunication networks. Relatório Técnico, IBM Corp., T.J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY, USA, January 1996.
- [BRISA, 1993] BRISA-Sociedade Brasileira para Interconexão de Sistemas Abertos. *Gerenciamento de redes-uma abordagem de sistemas abertos*, 1993.
- [Brugnoni *et al*, 1993] S. Brugnoni, G. Bruno, R. Manione, E. Montariolo, E. Paschetta, L. Sisto. "An expert system for real time diagnosis the italian telecommunications network". In *Proceedings of ISINM'93*, San Francisco, CA, abril 1993.
- [CBR, 1996] Case-based reasoning overview. 1996. <http://hope.gsfc.nasa.gov/RECALL/homepg/cbr1.htm>.
- [Costa e Lima, 1997] Sergio Carlos de Araújo Costa e Altenis Valécio de Lima e Lima. Construindo um OS a caminho da TMN. *Revista TELEBRÁS*, páginas 92-94, maio de 1997.
- [Covo *et al*, 1989] A. A. Covo, T. M. Moruzzi, e E. D. Peterson. AI-assisted telecommunications network management. In *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 89)*, páginas 487-491, Dallas, TX, USA, Nov 1989.

- [Cronk *et al.*, 1988] Robert N. Cronk, Paul H. Callahan, Lawrence Bernstein. Rule-based expert systems for network management and operations: an introduction. *In IEEE Network*, 2(5):7-21, 1988.
- [Dexter *et al.*, 1997] A.L. Dexter, R. Fargus e N. Maruyama. Fault detection in building control systems using neural networks and fuzzy logic. 1997. <http://www.eng.ox.ac.uk/~stcman/nfc/research/ressum2.html>.
- [Durkin,1994] John Durkin. *Expert systems design and development*, Englewood Cliffs: PTR Prentice Hall, 1994.
- [Ex.Fuzzy, 1997] Oestfold Research Foundation. Applications of fuzzy logic to real world problems. 1997. [http://www. Sto.no/examples-fl.html](http://www.Sto.no/examples-fl.html)
- [Froehlich e Jobmann, 1997] Peter Fröhlich, Klaus Jobmann. Model-based alarm correlation in cellular phone networks. Maio, 1997. <http://www.kbs.uni-hannover.de/paper/96/mascot97.html>.
- [Gardner e Harle, 1996] Robert D. Gardner, David A. Harle. Methods and systems for alarm correlation. In *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 96)*, páginas 136-140, 1996.
- [Groot, 1996] Martin Groot. Fault diagnosis in computer networks. 1996. <http://www.cse.unsw.edu.au/~martindg>.
- [Haykin,1994] S. Haykin. *Neural networks: a comprehensive foundation*. NY: Macmillan, 1994.
- [Heckerman e Nathwani, 1992] David Heckerman e B. Nathwani. An evaluation of the diagnostic accuracy of pathfinder. *Computers and biomedical research*, 25:56-74, 1992.
- [Heckerman *et al.*, 1994] David Heckerman, John S. Breese e Koos Rommelse. Troubleshooting

under uncertainty. Technical Report MSR-TR-94-07, Microsoft. Janeiro, 1994 (revisado setembro 1994).

[Heckerman, 1995] David Heckerman. A tutorial on learning with bayesian network. Technical Report MSR-TR-95-06, Microsoft. Março, 1995 (revisado novembro 1996).

[Hedberg, 1996] Sara Reese Hedberg. AI's impact in telecommunications: today and tomorrow: executive insight, 1996. <http://www.computer.org/pubs/expert/1996/insight/x10006/insight.htm>

[Hewlett Packard, 1995] Hewlett Packard. HP Open View event correlation for the telecommunications environment: Technology brief, September 1995.

[Hewlett Packard, 1996] Hewlett Packard. HP OPenView event correlation services: Technical evaluation guide, April 1996. Version 1.0.

[Hood e Jit, 1997] C.S. Hood e C. Jit. Automated proactive anomaly detection. In *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, V (ISINM'97)*, páginas 688-699, 1997.

[Houk *et al.*, 1995] K. Houck, S. Calo, e A. Finkel. Towards a practical alarm correlation system. In *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, IV (ISINM'95)*, páginas 226-237, 1995.

[ITU-T, 1992] ITU-T. *Recomendation X.733: Information technology - Open Systems Interconnection - systems management: Alarm reporting function*, 1992.

[ITU-T, 1995] ITU-T. *Principles for a telecommunications management network, Draft Recommendation M.3010*, Geneva, Switzerland, April 1995.

- [Jakobson e Weissman, 1993] Gabriel Jakobson e Mark D. Weissman. Alarm correlation. In *IEEE Network*, 7(6):52-59, November 1993.
- [Jakobson e Weissman, 1995] Gabriel Jakobson e Mark D. Weissman. Real-time telecommunication network management: extending event correlation with temporal constraints. In *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, IV (ISINM'95)*, páginas 290-301, 1995.
- [Jang, 1992] Jang, J-S R.. *Neuro-fuzzy modeling: architerture, analyses, and aplicatins*, PhD. Dissertation, Dept. of Electrical Engineering and Computes Science, University of California, Berkeley, 1992.
- [Jeng e Liang, 1995] B. C. Jeng e T. Liang. Fuzzy indexing and retrieval in case-based systems. *Expert Systems with Applications*, 8(1):135-142, 1995.
- [Kandel *et al.*,1996] A. Kandel, R. Pacheco, A. Martins, S.Khator. The foundations of rule-based computations in fuzzy models. In *Fuzzy Modeling: Paradigms and Practice*, Book Series of International Series in Intelligent Technologies, Zimmermenn, H. J. (Editor in Chief), published by Kluwer Academic Publishers, March, 1996.
- [Karamouzis e Feyock, 1994] Stamos T. Karamouzis e Stefan Feyock. An integration of case-based and model-based reasoning and its application to physical system faults. <http://online.loyno.edu/cisa494/papers/Karamouzis.html>
- [Kareltek,1997] Kareltek Technology Centre. Adaptive and intelligent systems applications. 1997. <http://www.kareltek.fi.opp/>
- [Kätker e Paterok, 1997] S. Kätker e M. Paterok. Fault isolation and event correlation for integrated fault management. In *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, V (ISINM'97)*, páginas 583-596, 1997.
- [Katzela, 1996] I. Katzela. *Fault diagnosis in telecommunication networks*. PhD thesis,

Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University, 1996.

[Katzela *et al*, 1996] I. Katzela, A. T. Boluloutas, e S. B. Calo. Comparison of distributed fault identification schemes in communication networks. Relatório técnico, IBM Corp., T.J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY, USA, January 1996.

[Katzela e Schwartz, 1995] I. Katzela e M. Schwartz. Schemes for fault identification in communication networks. In *IEEE Trans. on Networking*, 3(6):753-64, Dec 1995.

[Kehl e Hopfmüller, 1993] Walter Kehl e Heinrich Hopfmüller. Model-based reasoning for the management of telecommunication networks. In *IEEE International Conference on Communications'93 (ICC 93)*, páginas 13-17, 1993.

[Kirsch e Kroschel, 1994] H. Kirsch e K. Kroschel. Applying bayesian networks to fault diagnosis. In *3rd IEEE Conference on Control Applications*, páginas 895-900, 1994.

[Kliger *et al*, 1995] S. Kliger, S. Yemini, Y. Yemini, D. Ohsie e S. Stolfo. A coding approach to event correlation. In *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, IV (ISINM'95)*, páginas 266-277, 1995.

[Lewis, 1993] Lundy Lewis. A case-based reasoning approach to the resolution of faults in communications networks. In *IFIP International Symposium on Integrated Network Management, III (ISINM'93)*, páginas 671-682, 1993.

[Lewis e Dreo, 1993] Lundy Lewis e Gabi Dreo. Extending trouble ticket system to fault diagnostics. In *IEEE Network*, 7(6):44-51, November 1993.

[Lu e Chen, 1997] Yi Lu e Tie Qi Chen. Fast rule generation and membership function optimization for a fuzzy diagnosis system. 1997. http://www.engin.umd.umich.edu/~tqchen/projects/fuzzy_diagnosis/97/fuzzy.html.

[Mansfield *et al*, 1993] G. Mansfield, K. Jayanthi, K. Higuchi, Y. Nemoto, e S. Noguchi. The

- MIKB model for intelligent network management. In *IEEE International Conference on Communications'93 (ICC 93)*, páginas 1210-1214, 1993.
- [Medsker,1995] L. Medsker. "Overview of intelligent system". In *Hybrid Intelligent Systems*, L. Medsker, páginas 1-15, Boston: Kluwer Ac. Pub., 1995.
- [Meira, 1996] Dilmar M. Meira. Um survey sobre correlação de alarmes. Relatório Técnico DCC, Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 1996.
- [Meira e Nogueira, 1997] Dilmar M. Meira e José M. S. Nogueira. Métodos e algoritmos para correlação de alarmes em redes de telecomunicações. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, páginas 79-98, Maio 1997.
- [Meira et al., 1995] Dilmar Meira, José Marcos Nogueira e Son Vuong. On telecommunications network management. 1995. <http://www.sis.dcc.ufmg.br/sis/apresentacoes/apresent/apresent.html>
- [Munich Network, 1997] Munich Network Management Team, Integrated Network, Systems and Application Management. Event correlation. 1997. <http://wwwmnmteam.informatik.uni-muenchen.de/proj/evcorr/public-htdocs>
- [Niebur,1997] Dagmar Niebur. Artificial neural networks in the power industry, survey and applications. Technical Report CA91109, California Institute of Technology, USA. 1995. <http://www.jpl.nasa.gov/techreport/1995/95-0945.rfr.html>
- [NMF, 1994] Network Management Forum. The concept of TMN. 1994. <http://www.mri.com/products/WhitePaper/TMNanOverview/TMN1.html>.
- [Pacheco,1996] R. Pacheco. *A hybrid intelligent system for diagnosing and solving financial problems*. Tese de Doutorado. UFSC, Florianópolis, SC, 1996.

- [Parker,1997] Kim Parker. Neural nets in the telecommunications industry. 1997. <http://www.cbu.edu/~pong/624kep2.htm>
- [Ramalho, 1993] Eduardo Antonio Ramalho. Gerência integrada de redes e serviços. *Revista TELEBRÁS*, páginas 12-23, dezembro de 1993.
- [Reategui *et al*, 1995] Eliseo Reategui, John Campbell e Shirley Borghetti. Using a neural network to learn general knowledge in a case-based system. <http://online.loyno.edu/cisa494/papers/Reategui.html>
- [Rebelles e Freitas, 1993] Paulo R.L. Rebelles, José Pedro de Freitas. Introdução aos modelos genéricos de arquitetura para a rede de gerência de telecomunicações (TMN). *Revista TELEBRÁS*, páginas 12-23, dezembro de 1993.
- [Rich, 1993] Elaine Rich e Kevin Knight. *Inteligência artificial*. Makron Books, São Paulo, 1993.
- [Sasisekhara *et al*,1993] R. Sasisekhara, Yung-Kao Hsu e D. Simen. SCOUT: An approach to automating diagnosis of faults in large scale networks. In *IEEE Global telecommunications Conference (GLOBECOM 93)*, páginas 212-216, 1993.
- [Scavone e Echamendi, 1998] Janine Münch Scavone e Eduardo Zanin Echamendi. Sistema de Análise de Alarmes para Centrais Digitais. *Prêmio Nacional de Software para Telecomunicações*. Março de 1998.
- [Scavone e Fialho, 1997] Janine Münch Scavone e Francisco A. Fialho. Ergonomics Application on Alarm Handling at Santa Catarina Telecommunication State Company - An Expert System for Alarm Correlation. In *Proceedings IEA 97*, Volume III, página 198, 1997.
- [Seagate, 1997] Seagate NerveCenter. Network management. http://www.clt.com.au/sg/nervecnt.htm#speed_solution.

- [Shai, 1997] Stottler Henke Associates, Inc.. Model-based reasoning. 1997. <http://www.shai.com/aoe/mbr.htm>.
- [SMARTS, 1997] SMARTS Ships breaktrough event correlator. http://www.smart.com/news/incharge_release.html.
- [STB, 1994] *Planejamento de um ambiente de operações de serviços de telecomunicações*. Acordo CPqD-BNR/Bell Canadá, TELEBRÁS, CPqD, 1994.
- [STB, 1997] *Planejamento da transição e revisão operacional*. Acordo CPqD-BNR/Bell Canadá, TELEBRÁS, CPqD. Versão Resumida - Vol. II, páginas 18-24, 1997.
- [Sortica, 1997] Eduardo A. Sortica. *Especificação do modelo de informação de um agente cmip para a gerência de tarifação de centrais digitais de comutação*. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis, SC, 1997.
- [Sortica, 1997a] Eduardo A. Sortica. Evolução da gerência integrada de redes e serviços na teleesc. *Revista TELEBRÁS*, páginas 23-27, maio de 1997.
- [Tadashi *et al*, 1997] Carlos Tadashi, Eduardo Almansa Sortica e Milton Bem-Hur Faber. Plataformas TMN comerciais. *Revista TELEBRÁS*, páginas 45-51, maio de 1997.
- [TELESC, 1995] TELESC-Diretoria de Engenharia. *Relatório de Gerência de falhas*, Florianópolis, 1995.
- [Thompson, 1997] Valerie Thomposn. New reasoning engines and intelligent agents help companies manage their enterprise-wide knowledge resources. <http://www.byte.com/art/9709/sec17/art1.htm>
- [Waterman, 1986] Donald A. Waterman. *A guide to expert systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.

[Watson e Marir, 1994] Ian Watson e Farhi Marir. Case-based reasoning: a review. In *The Knowledge Engineering Review*, 9(4). 1994. <http://online.loyno.edu/cisa494/papers/Marir.html>.

[Wietgreffe *et al*, 1997] Hermann Wietgreffe, Klaus-Dieter Tuchs, Klaus Jobmann, Guido Carls, Peter Fröhlich, Wolfgang Nejdle e Sebastian Steinfeld. Using neural networks for alarm correlation in cellular phone networks. 1997. <http://www.mnmteam.informatik.uni-muenchen.de/~gruschke/tmp>

[Yemini *et al*, 1996] S. Yemini, S. Klieger, E. Mozes, Y. Yemini e D. Ohsie. High speed & robust event correlation. http://www.smarts.com/products/paper_intro.html

[Yuhas e Ansari, 1994] Ben Yuhas e Nirwan Ansari (Ed.). *Neural networks in telecommunications*. Kluwer Academic Publishers, 1994.